



Certificación ISO 9001:2008 ‡

Observatorio de movilidad y mortalidad de fauna en carreteras en México

Juan Fernando Mendoza Sánchez
Omar Alejandro Marcos Palomares

Publicación Técnica No. 454
Sanfandila, Qro., 2016

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Observatorio de movilidad y mortalidad de fauna
en carreteras en México**

Publicación Técnica No. 454
Sanfandila, Qro., 2016

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), por el MC Juan Fernando Mendoza Sánchez y el Ing. Omar Alejandro Marcos Palomares, investigadores del Grupo de Medio Ambiente.

Para el desarrollo de las aplicaciones móviles y en PC, se contó con la colaboración de Laura Treviño Mora, Jorge Hernández Gómez, José Miguel Flores Gaspar, Juan Luis Hernández López, Christian Adrián Salgado Pacheco, Jorge Luis González Sánchez y Hugo Víctor Gutiérrez Molina, estudiantes del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), bajo la supervisión de Eduardo Daniel Juárez Pineda y Edgar Daniel Fernández.

El logotipo de la aplicación WATCH_{MX} fue realizado por la Lic. Naomi Sandoval, quien apoyó el proyecto siendo estudiante del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Se agradece la colaboración de la División de Telemática del IMT, en especial del Mtro. Raúl Rivas Gutiérrez, la Mtra. Ariadna Sánchez Loo y el Mtro. José Carlos Ugalde Cheín, por el apoyo brindado para la realización del proyecto.

Finalmente, los autores desean extender un agradecimiento especial al Ing. Roberto Aguerrebere Salido y al Ing. Rodolfo Téllez Gutiérrez por sus valiosas aportaciones y experiencia para la mejora del proyecto.

Contenido

Resumen		iv
Abstract		vi
Resumen	ejecutivo	viii
Introducción		1
Capítulo 1.	Antecedentes	5
Capítulo 2.	Monitoreo de fauna	27
Capítulo 3.	Observatorio de movilidad y mortalidad de fauna en carreteras en México	39
Capítulo 4.	Estrategias y uso potencial de WATCH _{MX}	55
Capítulo 5.	Conclusiones	63
Bibliografía		65

Resumen

La presente investigación muestra los resultados del desarrollo de un observatorio de movilidad y mortalidad de fauna en carretera para México, con el objetivo generar una base de datos mediante fotografías, la cual se denominó WATCH_{MX}.

WATCH_{MX} es una plataforma creada para monitorear la fauna que cruza las carreteras en México con el fin de desarrollar planes de mitigación que puedan ayudar a evitar accidentes de los usuarios que utilicen la red de carreteras del país, así como la pérdida de especies por atropellamiento.

La investigación muestra la importancia de contar con información sobre las colisiones animal-vehículo para: monitorear las especies que cruzan o son atropelladas en las carreteras, identificar los puntos críticos de la red que ponen en peligro tanto a los usuarios de la red como a las especies, generar reportes para auxiliar en la toma de decisiones en la búsqueda de implementar medidas de mitigación, reducir la mortalidad de especies de fauna en las carreteras y preservarlas para el futuro, y aumentar la seguridad de las carreteras.

El proyecto incluye una herramienta informática para monitorear la movilidad y mortalidad de la fauna en las carreteras. El funcionamiento será a través de una aplicación para PC y dispositivos móviles con sistema iOS o Android.

El trabajo comprende, también, un resumen de las medidas potenciales de mitigación y un flujograma con el proceso para la toma de decisiones a fin de establecer o no acciones encaminadas a reducir o evitar las colisiones animal-vehículo.

Con el apoyo de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como de otras organizaciones dedicadas a la preservación de la fauna, se buscará implementar la aplicación WATCH_{MX} a la brevedad.

Abstract

This research shows the results of the development of an observatory of wildlife mobility and mortality on roads in Mexico, in order to generate a database with photographs, called WATCH_{MX} (“Wild Animals in Transport Corridors and Highways”).

WATCH_{MX} is a platform created to monitor wildlife crossing roads in Mexico in order to develop mitigation plans that can help prevent accidents by users who use the road network of the country and the loss of species by roadkill.

The research shows the importance of having information on Animal-Vehicle Collisions aimed at: monitoring species that cross or run over on the roads, identify critical points in the network that endanger the network users and species, generate reports to support decision making, seeking to implement mitigation measures to reduce the mortality of wildlife species on roads and preserve them for the future, thus enhancing road safety.

The project includes a software tool for monitoring mobility and wildlife mortality on highways. The operation will be through an application for PC and mobile devices with iOS or Android OS.

The work also includes a summary of potential mitigation measurements and a flow chart of the process for making decisions to implement actions in order to reduce or avoid Animal-Vehicle Collisions.

With support from the Secretariat of Transportation and Communications, the Secretariat of Environment and Natural Resources and other organizations dedicated to the preservation of wildlife, we are seeking that implementation of WATCH_{MX} will be given shortly, and will be supported by.

Resumen ejecutivo

Por considerarse una prioridad, la pérdida de biodiversidad y sus consecuencias directas en los ecosistemas han sido objeto de numerosos tratados internacionales, entre ellos: el Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU), con el objetivo de proteger la biodiversidad. De estos acuerdos emana una serie de lineamientos obligatorios y guías de cumplimiento para la protección de las especies de flora y fauna, y la creación de áreas naturales protegidas designadas como tales por su valor ambiental, por lo que requieren protección especial.

México se encuentra entre los 17 países del mundo con mayor diversidad de especies de plantas y animales, cuya riqueza, endemismos y ecosistemas podrían reconocerse como megadiversos.

En México, alrededor de 1,573 especies de fauna se encuentran en riesgo, de las cuales 528 pertenecen a la categoría de amenazadas, 720 se encuentran bajo protección especial, 282 están en peligro de extinción y 43 están probablemente extintas.

Diversos estudios sobre la diversidad revelan que las actividades humanas influyen en la disminución del número de especies, en el tamaño de las poblaciones silvestres y en una notoria pérdida —en muchos casos irreversible— de los ecosistemas y los hábitats.

La situación preocupa al país al verse reducidas en abundancia y distribución de los diferentes especímenes de fauna.

El desafío actual estriba en lograr que el desarrollo y la operación de la infraestructura (vivienda, industria y transporte, entre otros elementos) sea respetuosa y compatible con los ecosistemas, ya que los impactos ambientales que generan son significativos.

Entre los principales impactos que los caminos ejercen en la biodiversidad figuran la fragmentación de los hábitats; la reducción de zonas forestales por la construcción de carreteras que crean daños ambientales considerables por el alto valor que tienen las especies de estos ecosistemas para absorber gases de efecto invernadero (GEI); el papel que desempeñan las carreteras son también un vector para facilitar la dispersión de especies no autóctonas e invasoras; la mortalidad de especies por atropellamiento, junto con impactos al suelo y los recursos hídricos.

Por la fragmentación que causan en los ecosistemas, las carreteras generan dos importantes impactos ambientales: el efecto barrera y el efecto de borde.

El efecto barrera se genera cuando se limita la movilidad de las especies de un punto a otro del ecosistema fragmentado, debido al obstáculo físico que representa una carretera ya construida. Además, el efecto barrera tiene importantes repercusiones en la reproducción y en las cadenas alimenticias.

Por otro lado, el efecto de borde se presenta cuando un ecosistema es fragmentado, y por lo tanto las condiciones bióticas y abióticas de los fragmentos y de la matriz circundante cambian.

La mortalidad de especies puede deberse directamente al atropellamiento de la fauna durante la construcción de la carretera, que suele ser de tipo accidental o que su muerte esté asociada al estrés o ingesta de algún residuo sólido que se haya generado por el personal que labora en la obra. Otras muertes de animales obedecen precisamente al efecto barrera, cuando las especies de fauna por algún motivo natural tienen necesidad de cruzar la carretera, y por tratarse de especies más vulnerables suelen ser víctimas de atropellamiento, por lo que frecuentemente en las carreteras se observan cuerpos de animales muertos.

En los últimos años, como parte de los estudios realizados sobre accidentes carreteros, un tema abordado es aquel que implica una colisión con un animal, ya sea doméstico o silvestre. De las estadísticas de accidentes en México, registrados y reportados al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para el periodo comprendido entre 1997 y 2014, el total de accidentes automovilísticos fue de 7'003,762, de los cuales 29,289 corresponden a colisiones con animales, es decir, un 0.4% en el periodo de análisis.

Estudios realizados a nivel de especie en otros países sugieren que los organismos más perjudicados pertenecen al grupo de vertebrados, tales como: mamíferos, anfibios, aves y reptiles. En México, no se cuenta con estudios en materia de mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento; la información disponible forma parte de algunos proyectos de tesis o de estudios de organizaciones no gubernamentales que protegen alguna especie en particular.

Las Colisiones Vehículo-Animal se separan en dos tipos: las referidas a animales domésticos (Colisión con Animal Doméstico, CAD) y aquellas ocurridas con fauna silvestre (Colisión con Animal Silvestre, CAS).

Las consecuencias son importantes, comprenden costos ambientales como resultado de la pérdida de especies faunísticas, junto con una baja seguridad vial que repercute en accidentes que pueden conllevar a pérdidas humanas. Estos accidentes también afectan la economía del país y a su sociedad.

A efectos de llevar a cabo un análisis en torno a las colisiones, se requiere información detallada de bases de datos, tanto de organizaciones dedicadas a la protección de especies, como de las instituciones encargadas de las estadísticas nacionales de siniestralidad, por lo que es necesario implementar tareas de monitoreo ambiental.

El monitoreo ambiental en carreteras consiste en un sistema que busca evaluar el impacto ambiental ocasionado, mediante mediciones periódicas con la utilización de indicadores ambientales. Este método se utiliza comúnmente para un seguimiento y control de los impactos ambientales generados durante la operación de la infraestructura del transporte, aunque también el monitoreo ambiental se puede incluir en las etapas de construcción.

El propósito del monitoreo ambiental es obtener información sobre el estado que guardan los diferentes componentes ambientales en el área de influencia de una carretera. Ello comprende la medición de la efectividad de las medidas de mitigación preventivas o correctivas implementadas, considerando el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos en las legislaciones de cada país, de acuerdo con las técnicas e indicadores referidos en la misma legislación.

Durante la fase de operación de un proyecto muchos países utilizan el monitoreo para evaluar el éxito de las medidas de mitigación propuestas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Como parte de esta evaluación, se vigila el cumplimiento de las medidas de mitigación y se lleva a cabo un monitoreo de la mortalidad de fauna, con la fecha y el lugar de la muerte a lo largo de la infraestructura. Al parecer, Francia es de los pocos países que realizan una evaluación final del proyecto, la cual se efectúa de tres a cinco años después de la puesta en marcha de la carretera. Esta evaluación implica monitorear algunos parámetros como la mortalidad de fauna, la efectividad de los pasos de fauna, la evolución de la vegetación natural o la evolución cualitativa de los hábitats. Otros países como Dinamarca o Finlandia realizan un monitoreo de los pasos de fauna e integran inventarios de puntos de conflicto entre animales y el tránsito, pero sólo para algunas autopistas.

El atropellamiento de fauna es un indicador medido en varios países, tales como: Estados Unidos, Canadá, Suecia, España y Dinamarca. La información generada se utiliza para construir modelos y analizar puntos negros, a fin de implementar medidas de mitigación encaminadas a evitar la mortalidad de animales y aumentar la seguridad de los viajeros en las carreteras.

En México, con fines de monitorear la fauna que cruza las carreteras y que en ocasiones es atropellada, se decidió crear el “Observatorio de movilidad y mortalidad de fauna en carreteras en México” en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

El observatorio tiene como objetivo generar una base de datos a partir de fotografías de la movilidad de la fauna en carreteras o de los ejemplares atropellados en las carreteras.

Este proyecto implica el uso de una herramienta informática que permite monitorear la movilidad y mortalidad de la fauna en las carreteras. Su funcionamiento será a través de una aplicación para computadoras personales (PC, por sus siglas en inglés) y dispositivos móviles con sistema iOS o Androide.

El observatorio fue denominado WATCH_{MX}, al en referencia a su acrónimo en inglés, que al traducirse al español significa “ver”, “mirar”, “observar”, “vigilar” o “prestar atención”, acciones que finalmente realizan los usuarios al transitar en una carretera, y al usar la aplicación requieren: observar y reportar a la fauna que circunda las carreteras.

WATCH_{MX} es el acrónimo de “Wild Animals in Transport Corridors and Highways”, que en español significa “Animales Silvestres en Corredores de Transporte y Carreteras”.

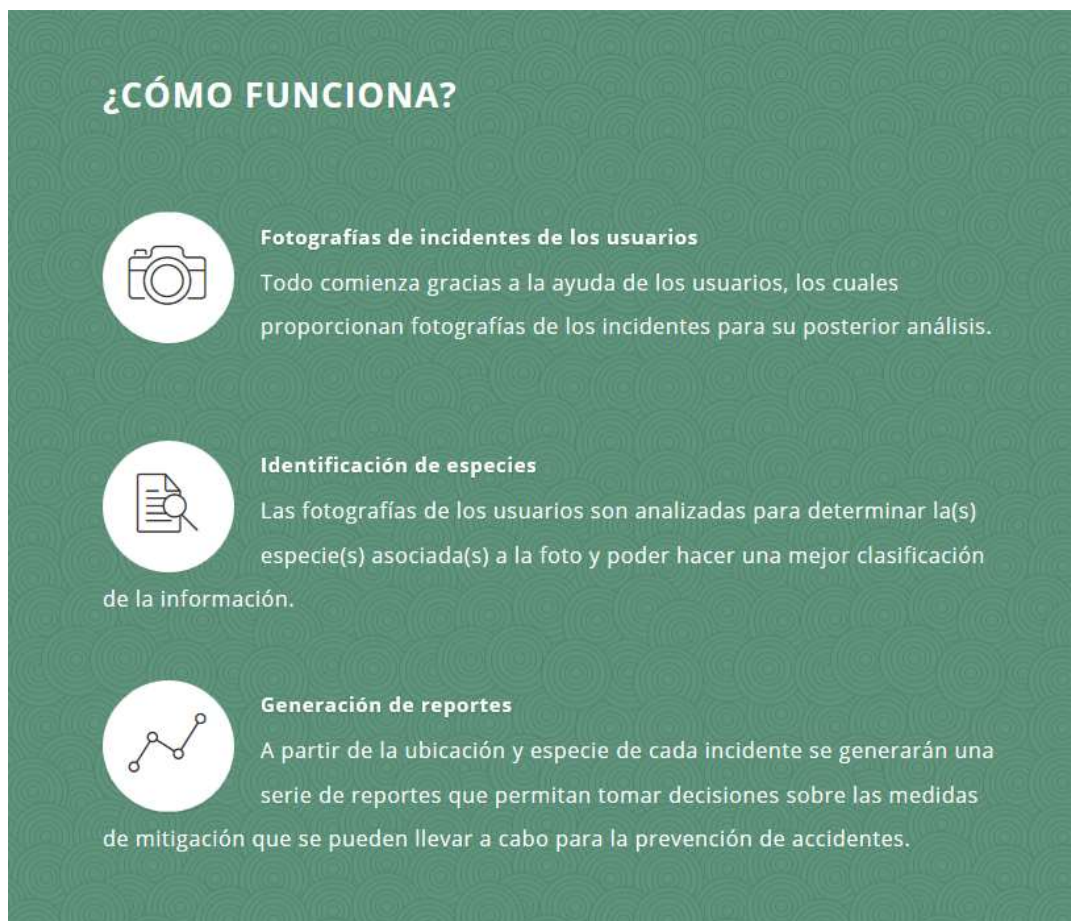
WATCH_{MX} es una plataforma creada para monitorear la fauna que cruza las carreteras en México con el fin de desarrollar planes de mitigación orientados a ayudar a evitar accidentes de los usuarios que utilicen la red de carreteras del país, así como la pérdida de especies por atropellamiento.

WATCH_{MX} está disponible en su versión para PC en: http://watch.imt.mx/public_html/publico/#/inicio y también puede descargarse para el sistema Android en Google Play y el sistema iOS en App Store. La aplicación es gratuita.

La siguiente figura es una vista de la aplicación móvil de WATCH_{MX}



La ilustración a continuación muestra el funcionamiento del observatorio, lo mismo para la aplicación en PC, que en dispositivos móviles.



En el caso de la aplicación para dispositivos móviles, las fotografías guardan la ubicación georreferenciada.

La identificación de especies se realiza en una página web que funciona solo en la intranet, a la que únicamente los administradores de la aplicación tienen acceso. Esta página permite agregar las especies que se requiere asociar a cada fotografía. En esta página se incorpora el nombre común de la especie en cuestión, junto con su nombre científico y dos categorías de riesgo en términos de la NOM-059-2010. La primera categoría comprende las siguientes subcategorías: probablemente extinta en el medio silvestre (E), en peligro de extinción (P), amenazadas (A), sujetas a protección especial (Pr) o sin estatus. La segunda categoría incluye las siguientes clasificaciones: especie asociada, especie clave, especie endémica o especie principalmente extralimitada.

La herramienta permite visualizar los incidentes que se han registrado, producto de la recepción de fotografías y la información sobre la ubicación del incidente enviadas por usuarios.

La plataforma de intranet cuenta, además, con una función para generar reportes, que el administrador puede visualizar de forma gráfica e interactiva en la página web, donde se pueden ver los incidentes, la localización de éstos y la especie de que se trata.

Asimismo, es posible calcular la ruta e identificar que especies por carretera son las que están siendo reportadas, a fin de identificar puntos críticos de la red.

Esta página muestra, además, lo que se denominó “mapa de calor” para identificar el sitio donde se han concentrado incidentes, por cantidad y especie, e incluir rango de fechas para el análisis de la información.

La información se puede exportar a una base de datos en Excel para realizar análisis adicionales.

El seguimiento se efectúa por medio de fotografías tomadas por usuarios de la red de carreteras y enviadas al Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna del Instituto Mexicano del Transporte, gracias a las cuales se integrará un sistema con el siguiente objetivo:

- Monitorear las especies que cruzan o son atropelladas en las carreteras.
- Identificar los puntos críticos de la red que ponen en peligro a los usuarios de la red y a las especies.
- Generar reportes que faciliten la toma de decisiones en busca de implementar medidas de mitigación.
- Reducir la mortalidad de especies de fauna en las carreteras y preservarlas para el futuro.
- Aumentar la seguridad de las carreteras.

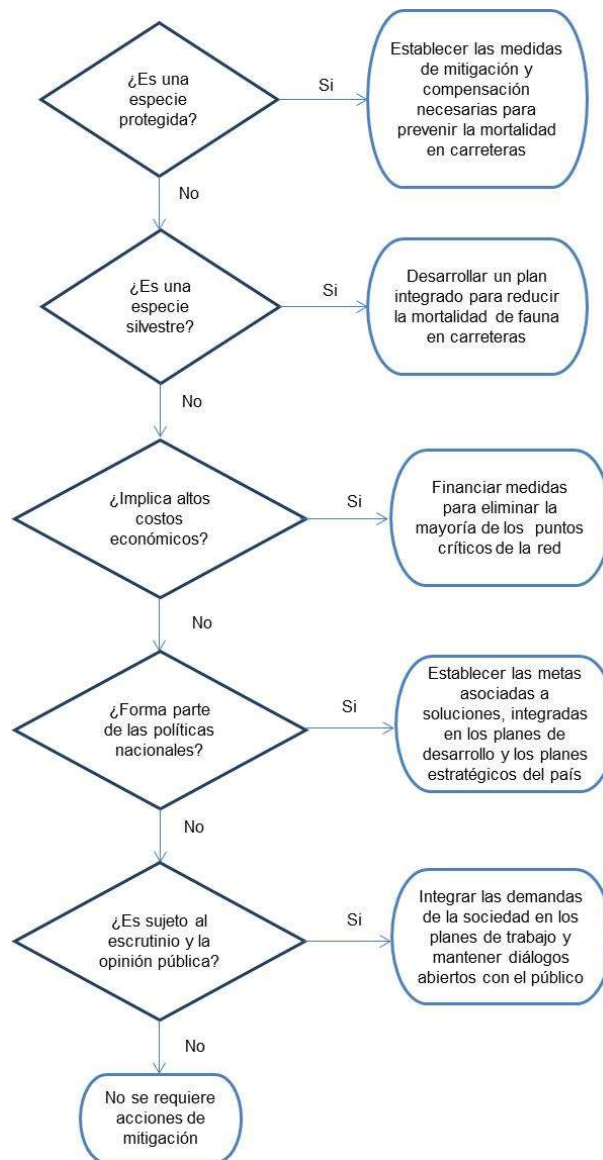
Para que la herramienta WATCH_{MX} pueda resultar efectiva, se requiere de una amplia difusión de la misma al interior del sector transporte, entre los usuarios de la red, instituciones universitarias y de investigación, así como entre organizaciones no gubernamentales que apoyan este tipo de iniciativas.

La información sobre la movilidad y la mortalidad de fauna en carreteras será de suma utilidad, no solo para conocer el número y tipo de especies involucradas en los accidentes, sino que también será el insumo base para evaluar las colisiones animal-vehículo, desde una perspectiva en que contemplen aspectos económicos, ecológicos, sociales y técnicos, entre otros.

La seguridad vial y las pérdidas económicas asociadas a las colisiones animal-vehículo son las fuerzas impulsoras detrás de los esfuerzos de mitigación en la actualidad. Sin embargo, se carece de información fidedigna de los accidentes de tránsito, para que mediante un análisis costo-beneficio se puedan formular estrategias efectivas de mitigación en las carreteras y se apliquen sin remordimientos.

El proceso de evaluación guarda enorme relevancia en la toma de decisiones para señalar, con base en las estadísticas generadas a través de WATCH_{MX}, el camino a seguir hacia la implementación de soluciones, que en muchos países ya están en marcha, y se ha evaluado su efectividad, gracias a lo cual podemos adoptar las mejores prácticas para nuestro país, a fin de restaurar la conectividad ecológica en los ecosistemas fragmentados por las carreteras y disminuir la mortalidad de especies por atropello, preservando, de esta manera, la riqueza de fauna con que cuenta México.

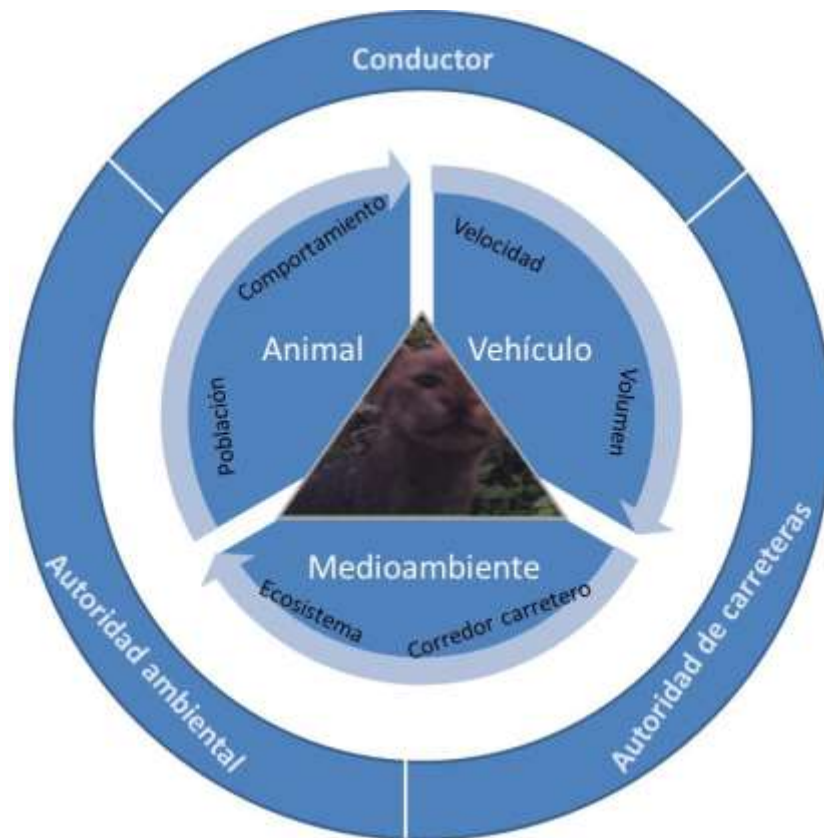
El siguiente esquema muestra el proceso de evaluación de las colisiones animal-vehículo



También, en numerosos países ya se han implementado medidas encaminadas a contrarrestar las colisiones de vehículos con animales y, a través de los años, han probado su efectividad. La mayoría de estas medidas busca evitar que animales crucen un camino a nivel, para lo cual se instalan cercas, barrancos, reflectores y repelentes (olfatorios o acústicos), o reducir su presencia en el corredor carretero.

Sólo excepcionalmente se han realizado intentos donde se alteran los patrones del tránsito, mediante la reducción de los límites de velocidad o con el cierre temporal de carreteras, o incluso con ajustes en la planificación de carreteras cuando se atraviesan zonas de alto riesgo.

Las medidas destinadas a aumentar la conciencia de un conductor por medio de señales de advertencia o educación también son un recurso que se utiliza, aunque son útiles cuando se trata de especies de gran tamaño. La siguiente figura muestra las atribuciones para la toma de decisiones de mitigación



Se buscará que la implementación de WATCH_{MX} se dé a la brevedad, y se prestará el apoyo necesario a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como a otras organizaciones dedicadas a la preservación de la fauna.

Las investigaciones futuras en esta línea de trabajo serán en la generación de reportes sobre la movilidad y la mortalidad de fauna en las carreteras del país, para que con base en ellas la Secretaría de Comunicaciones y Transportes pueda incluir acciones de mitigación en sus planes de trabajo.

Estas acciones de mitigación podrán corresponder al proceso planteado en esta investigación, pero lo más importante será monitorearlas para evaluar la efectividad de las medidas tomadas y con ello poder generar las mejores prácticas sobre los cruces de fauna en carreteras a escala nacional.

Introducción

La fauna silvestre es un recurso natural conformado por aquellas especies animales que subsisten bajo procesos de selección natural y se desarrollan libremente, aunque pueden existir pequeñas poblaciones que se encuentran bajo el control del hombre, como las poblaciones albergadas en zoológicos o unidades de manejo ambiental. En otras palabras, la fauna silvestre es un conjunto de animales que no ha sido objeto de domesticación, algún tipo de mejoramiento genético o cría, en algunos casos se excluye a los peces.

La preservación de la fauna silvestre es un tema que ocupa a muchos países del planeta, debido a la importancia que estas especies desempeñan en la dinámica de los ecosistemas; sin embargo, no todos los países asumen políticas sustentables para preservar la fauna, sobre todo respecto de especies que se encuentran en peligro o casi extintas.

Las principales amenazas sobre la fauna silvestre que la ponen en riesgo, son: el tráfico y venta ilegales, la caza indiscriminada (para obtención de alimento o pieles, con fines deportivos, etc.), el uso desmesurado de los recursos ambientales, la introducción de especies invasivas, la reducción y segregación de áreas naturales y ecosistemas de alto valor ambiental, la destrucción de hábitats, el cambio climático, el uso de insecticidas y herbicidas, la contaminación de cuerpos de agua superficial y el descenso de la capa freática que repercute en pérdida de especies vegetales.

El desarrollo de infraestructura carretera trae consigo impactos directos en la fauna, tales como la muerte por atropellamiento, la disminución de especies al afectar sus ecosistemas, una mayor movilidad de especies, el desequilibrio de otros ecosistemas a causa de esta movilidad, muerte por envenenamiento por consumo de agua contaminada con sustancias químicas emitidas por vehículos, entre las que se incluyen hidrocarburos, principalmente.

Una vez que construida una infraestructura para el transporte, como una carretera, se genera el llamado “efecto barrera”, que limita el movimiento de la fauna, lo que, a su vez, reduce la conectividad ecológica, aumenta la fragmentación de los hábitats y, con ello, el impacto en las poblaciones de fauna.

En términos de movilidad de personas y mercancías, las carreteras —como parte de la logística nacional y por representar la infraestructura más utilizada en México— aportan importantes beneficios para el desarrollo económico y social del país.

En los últimos años, no obstante, se han identificado impactos de las carreteras en los ecosistemas y los recursos naturales, entre otros, la mortalidad de la fauna silvestre.

Actualmente en México, entre las medidas de mitigación contenidas en estudios de impacto ambiental de proyectos carreteros (presentados ante las autoridades ambientales pertinentes), se cuenta con acciones que evitan y reducen los impactos a la fauna que habita en los ecosistemas donde se ubica el proyecto en cuestión. Sin embargo, como se trata de proyectos nuevos, toda la red de caminos construida antes de establecerse en la ley la obligatoriedad de evaluar el impacto ambiental, no incluyeron acciones de mitigación para estos impactos.

Por lo tanto, los impactos ambientales identificados en las carreteras que no fueron sometidas a una evaluación del impacto ambiental, o que fueron evaluadas en las primeras etapas de implementación de la Ley, no cuentan con medidas de mitigación para revertir el impacto de la fragmentación de los hábitats y asegurar la conectividad ecológica. Esto repercute en la mortalidad de la fauna o una mayor exposición de ésta al cruzar las carreteras.

Con base en este argumento, el Instituto Mexicano del Transporte se dio a la tarea de desarrollar el “Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras en México”, con el objetivo de llevar a cabo un seguimiento mediante registros fotográficos, a los puntos de cruce de la fauna, donde se expone a ser atropellada en las carreteras.

El capítulo 1 del presente trabajo se integra de los siguientes elementos: antecedentes sobre la importancia del cuidado de la fauna en el país, la legislación ambiental que protege a la fauna en las carreteras, y la problemática actual sobre la siniestralidad en las carreteras como resultado de la interacción de un vehículo con un animal, lo que incluye estadísticas nacionales sobre el tema y un análisis de alcance internacional sobre la colisión fauna-vehículo en las carreteras.

Dado que el monitoreo se pretende llevar a cabo mediante sistemas inteligentes, a través de dispositivos móviles y PC, en el capítulo 2 se muestra un panorama internacional de cómo se realizan tareas de monitoreo de la fauna en las carreteras en otros países.

El capítulo 3 describe las herramientas creadas para efectuar el monitoreo de la fauna en carreteras en México, a saber: la aplicación para dispositivo móvil con sistemas iOS y Android y la página web del sitio WATCH (acrónimo en inglés para “Wild Animals in Transport Corridors and Highways”), y finalmente se incluye una descripción general de la página como administrador de usuarios, donde se podrá visualizar el monitoreo de fauna a través de sistemas de información geográfica y tener acceso a la base de datos para generar mapas de movilidad y mortalidad de especies.

Para obtener un beneficio de las aplicaciones desarrolladas, es necesario una implementación exitosa, para que con base en la información recabada se pueda aplicar lo que se sugiere en el capítulo 4, donde se muestra el panorama general sobre el uso potencial de la información del “Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras en México”, que se realizará a través de las herramientas realizadas para WATCH.

Las tareas a seguir como resultado de este trabajo de investigación se reflejarán en las conclusiones, entre las cuales se destaca la difusión en el sector transportes la herramienta para incrementar su uso y potenciar la plataforma a fin de generar reportes anuales de movilidad y mortalidad de fauna en carreteras en México.

1 Antecedentes

La biodiversidad o diversidad biológica, según lo establece el Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas, es el término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano (CDB, 1992).

En función de la variedad de seres vivos y los procesos que integran los diferentes ecosistemas, la diversidad biológica se divide en: cultural y natural.

La biodiversidad natural puede, a su vez, dividirse en tres niveles: ecológico, específico y genético. El ecológico se refiere a los ecosistemas y sus procesos complejos; el específico incluye a las especies o conjunto de organismos semejantes, y el genético está asociado a los genes que constituyen la base molecular.

En México, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 2015) define la biodiversidad como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

La flora y fauna silvestres forman parte de la biodiversidad. El valor principal y esencial de la biodiversidad es su capacidad para garantizar el bienestar y equilibrio de los ecosistemas, la cual forma parte de procesos históricos naturales de muchos años. Estas razones explican el carácter de la biodiversidad en el planeta Tierra como el inalienable derecho de continuar su existencia.

Fauna silvestre: Las especies animales que subsisten sujetas a los procesos de selección natural y que se desarrollan libremente, incluyendo sus poblaciones menores que se encuentran bajo control del hombre, así como los animales domésticos que por abandono se tornen salvajes y por ello sean susceptibles de captura y apropiación. (LGEEPA, 2015)

Flora silvestre: Las especies vegetales, así como los hongos, que subsisten sujetas a los procesos de selección natural y que se desarrollan libremente, incluyendo las poblaciones o especímenes de estas especies que se encuentran bajo control del hombre. (LGEEPA, 2015)

Vida silvestre: Los organismos que subsisten sujetos a los procesos de evolución natural y que se desarrollan libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como los ferales. (LGVS, 2015)

La flora y fauna silvestres, además de su importancia como elementos de la biodiversidad, representan valores éticos, culturales, económicos, políticos, ecológicos, recreacionales, educativos y científicos, que han ido de la mano con el desarrollo de la humanidad y la historia de la tierra (Zamorano, 2009).

La pérdida de biodiversidad y sus consecuencias directas en los ecosistemas se consideran una prioridad en términos del Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica, adoptado por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), con miras a proteger la diversidad biológica. De estos acuerdos emanan una serie de lineamientos obligatorios y guías de cumplimiento para la protección de las especies de flora y fauna, y la creación de áreas naturales protegidas que por su valor ambiental requieren protección especial. Entre estos acuerdos destacan los siguientes:

- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*, CITES). Se trata de un acuerdo internacional intergubernamental, redactado como el resultado de la resolución adoptada en 1973 en el marco de una reunión de los países miembros de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (del inglés *International Union for Conservation of Nature*, IUCN). Su propósito es asegurar que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas salvajes no amenace su supervivencia en su medio natural. Los acuerdos alcanzan varios grados de protección y cubren a más de 30,000 especies de animales y plantas. La CITES es uno de los mayores acuerdos en vigor en materia de protección de especies.
- La Convención para la Protección de la Flora, de la Fauna y de las Bellezas Escénicas Naturales de los Países de América pretende proteger y conservar en su medio ambiente natural, ejemplares de todas las especies y géneros de su flora y su fauna endémicas, incluyendo las aves migratorias, en un número suficiente y en regiones lo bastante vastas para evitar su extinción por cualquier medio al alcance del hombre, así como proteger y conservar los paisajes de incomparable belleza, las formaciones geológicas extraordinarias, las regiones y los objetos naturales de interés estético o valor histórico o científico, y los lugares donde existen condiciones primitivas dentro de los casos a que la Convención se refiere; y concertar una convención sobre la protección de la flora, la fauna, y las bellezas escénicas naturales dentro de los propósitos convenidos.

1.1 Marco jurídico ambiental en México

De acuerdo con la LGEEPA, en su artículo quinto, es facultad de la Federación la regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y preservación de la fauna.

En el capítulo III de la LGEEPA “Flora y Fauna Silvestre”, el apartado VI fomenta la participación de las organizaciones sociales, públicas o privadas, y los demás interesados en la preservación de la biodiversidad.

Las áreas de protección de flora y fauna se constituyen conforme a la LGEEPA y la Ley General de Vida Silvestre (LGVS), en los lugares que contienen los hábitats de cuyo equilibrio y preservación depende la existencia y desarrollo de las especies.

El artículo 170 de la LGEEPA advierte que en caso de existir riesgo inminente de desequilibrio ecológico, daño o deterioro grave de los recursos naturales, la autoridad podrá clausurar temporal, parcial o totalmente las fuentes que ocasionen el impacto a los diversos componentes ambientales como la fauna. De esta manera, el proyecto en desarrollo busca anticiparse para evitar cierres en las carreteras por ocasionar algún tipo de impacto negativo grave a la fauna.

En el caso de la LGVS, es responsabilidad de la Federación, según lo previsto en el apartado XIX, el trato digno y respetuoso a la fauna silvestre, por lo que el artículo 11 obliga a la Federación a promover y aplicar medidas para realizar dicha responsabilidad.

El capítulo VII “Movilidad y dispersión de poblaciones de especies silvestres nativas” de la LGVS, no especifica cómo resolver la movilidad de la fauna a través de infraestructuras lineales, ya que impide la colocación de cercas para retener a la fauna, por lo que será necesario establecer medidas especiales, que justifiquen la colocación de cercas junto con cruces para la fauna, a fin de rehabilitar los corredores biológicos, que establece el artículo 75 de dicha Ley.

A efectos de asegurar la preservación de la fauna en México, se promulgó la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres; categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio; y la lista de especies en riesgo.

Esta normativa busca promover su protección y preservación, mediante la categorización de las especies en riesgo, conjuntamente con un listado de ejemplares que por su carácter ha sido identificada por la SEMARNAT como probablemente extintos en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazados o sujetos a protección especial.

Probablemente extinta en el medio silvestre (E)

Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del Territorio Nacional han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del Territorio Mexicano.

En peligro de extinción (P)

Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

Amenazadas (A)

Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

Sujetas a protección especial (Pr)

Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.

Fuente: NOM-059-SEMARNAT-2010

El listado de especies que protege dicha normativa es de particular interés de nuestro proyecto para asegurar su protección, preservación y reducir su mortalidad en las carreteras. Existe otra clasificación en cuanto a su estado, como se muestra a continuación.

Especie asociada

Aquella que comparte el hábitat natural y forma parte de la comunidad biológica de una especie en particular.

Especie clave

Aquella cuya presencia determina significativa y desproporcionadamente respecto a su abundancia, la diversidad biológica, la estructura o el funcionamiento de una comunidad.

Fuente: NOM-059-SEMARNAT-2010

Especie endémica

Aquella cuyo ámbito de distribución natural se encuentra circunscrito únicamente al Territorio Nacional y a las zonas donde la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Especie principalmente extralimital

Aquella especie cuya distribución natural actual se presenta en su mayor parte fuera de los límites nacionales, por lo que su presencia en el Territorio Nacional es marginal, esto es, menor al 5%.

Fuente: NOM-059-SEMARNAT-2010

La Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México engloba un conjunto de objetivos, líneas estratégicas y acciones requeridas para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el país.

Además de sugerir opciones que consideren los efectos, esta estrategia intenta incidir en las causas profundas. Se trata de una iniciativa que abarca toda la biodiversidad de México (terrestre, acuática, insular; sean plantas, hongos, animales vertebrados o invertebrados, etc.), con un enfoque nacional.

El reto de la estrategia es considerar los diversos factores que intervienen, buscar soluciones comunes para hacer frente a la problemática que la biodiversidad enfrenta actualmente en el país, y plantear recomendaciones para que los mexicanos revaloren la biodiversidad nacional.

La protección y la conservación constituyen el eje principal definido en la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México con el cual se vincula el presente proyecto de investigación, en particular el apartado 1.6: Impulsar los esfuerzos de seguimiento (monitoreo) de la situación de los elementos de la biodiversidad nacional.

1.2 Fauna en México

México se encuentra entre los 17 países del mundo con mayor diversidad de especies de plantas y animales, cuya riqueza de especies, endemismos y de ecosistemas podrían reconocerse como megadiversos.

El documento “La diversidad biológica de México: Estudio del país” presenta datos concretos en materia de biodiversidad. Algunos ejemplos: México ocupa el segundo lugar del mundo en diversidad de reptiles (717 especies), es decir, 11% de las conocidas en el planeta, y de ellas 52% son endémicas, y el quinto lugar en cuanto a mamíferos (450 especies, equivalentes al 12% mundial, de las cuales 29% son endémicas). Con respecto a diversidad de anfibios, el cuarto lugar (con

284 especies, aproximadamente el 7% mundial) corresponde a México; de éstos, 60% son habitantes exclusivos de México y 3% son endémicos de Mesoamérica) [ENBM, 2000].

Con base en la NOM-059, se elaboraron gráficas de especies para conocer en números la cantidad de mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces o invertebrados, que por alguna particularidad se encuentran categorizados como en riesgo. La figura 1 muestra las especies en riesgo en México.

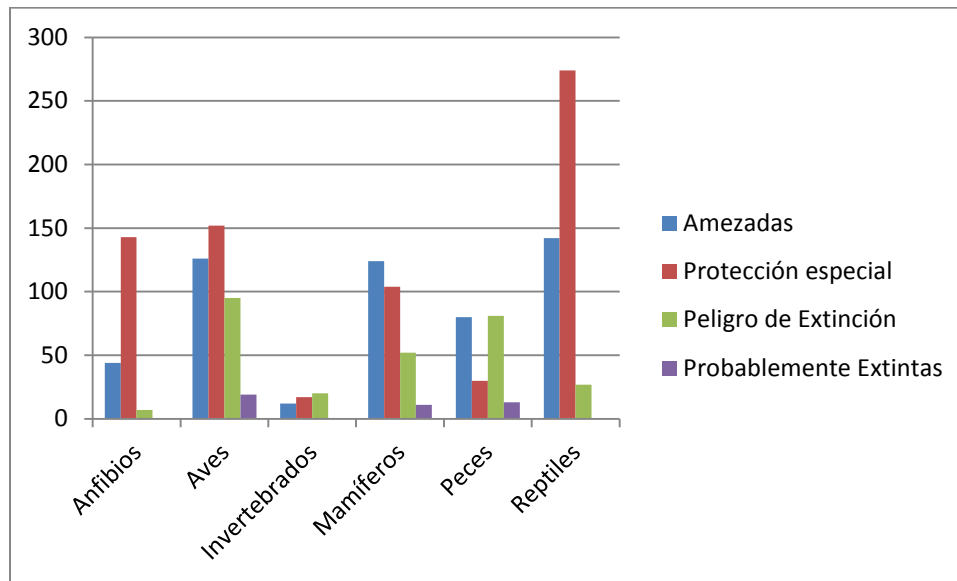


Figura 1. Especies de fauna en riesgo en México

Fuente: NOM-059-SEMARNAT-2010.

En México, alrededor de 1,573 especies de fauna se encuentran en riesgo: 528 se encuentran en la categoría de amenazadas, 720 en protección especial, 282 en peligro de extinción y 43 están probablemente extintas.

Una característica particular de México, es que cuenta con un gran número de especies endémicas.

1.3 Amenazas a la biodiversidad

Diversos estudios sobre la diversidad revelan que las actividades humanas influyen en la disminución del número de especies, en el tamaño de las poblaciones silvestres y en una notoria pérdida —en muchos casos irreversible— de los ecosistemas y los hábitats.

La situación preocupa en todo el país al verse reducidos en abundancia y distribución los diferentes especímenes de fauna.

El documento “La diversidad biológica de México: Estudio del país” atribuye las causas a los siguientes factores:

- a) sobreexplotación por parte del ser humano, incluyendo actividades legales (como la pesca) e ilegales (como el tráfico de especies amenazadas);
- b) destrucción de hábitats causada por diversas actividades productivas, que incluyen principalmente la deforestación;
- c) los efectos negativos de las interacciones con enemigos naturales introducidos o favorecidos por las actividades humanas (como depredadores, patógenos y competidores);
- d) la influencia de compuestos químicos y tecnologías utilizados en la fertilización de suelos, fumigación de cultivos y construcción de grandes obras de ingeniería (contaminación);
- e) catástrofes naturales tales como incendios, erupciones, inundaciones y terremotos, y
- f) efectos del cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos.

1.3.1 Amenazas a nivel de ecosistema

El cambio climático es una amenaza prevaiente para los ecosistemas de todo el mundo. Algunos de los cambios esperados o que ya se están experimentando en diversas regiones del planeta son: calentamiento global de la superficie terrestre, olas de calor, calentamiento de la superficie polar, reducción del hielo marino, incremento de la precipitación media, sequías, elevación del nivel del mar y aumento de las marejadas causadas por tormentas, entre otros fenómenos. Estos cambios en el medio ambiente físico y biótico conllevan efectos negativos en la composición, recuperación y productividad de los ecosistemas, lo que afecta su funcionamiento y los servicios ambientales que prestan.

Otra amenaza es el cambio global, el cual abarca todos los cambios del ecosistema terrestre, tales como: alteraciones de la biodiversidad, migración de asentamientos humanos y cambios en la esfera socioeconómica, entre otros efectos. Además, las actividades humanas están modificando la composición atmosférica del planeta, la calidad del agua superficial y subterránea y las características de la superficie terrestre (cambios geomorfológicos y deforestación); así como introducir sustancias químicas nocivas al medio natural, cultivar intensiva o extensivamente algunas especies mientras agota otras, y transportar especies propias de una región a otra.

Los cambios en los ecosistemas terrestres están afectando considerablemente la biodiversidad, donde patrones como el crecimiento demográfico, el consumismo, el uso de tecnologías, junto con la adopción de prácticas productivas poco sustentables, provocan alteraciones en la corteza terrestre y los ecosistemas.

México ha sufrido una de las tasas de deforestación más altas del mundo, con estimaciones de entre 300 mil y un millón de hectáreas (ha) anuales. Entre 1981 y 1991 la deforestación promedio se calculó en 678 mil ha, siendo una de las más altas del mundo (FAO, 1993). Esta alta tasa de deforestación es el reflejo de la intensa actividad ganadera y agrícola insostenible que se ha registrado en nuestro país desde hace muchos años.

El deterioro ambiental en el campo es un fenómeno que se extiende a toda la producción agrícola en general. El modelo tecnológico en México basa la renovación de sus sistemas mediante la regeneración natural de la cubierta vegetal, mientras que la agricultura comercial tecnificada presenta en la actualidad problemas relacionados con el uso eficiente de la energía y de los suelos.

En el país la actual sustitución de ecosistemas selváticos por pastizales destinados a la ganadería ha implicado un alto costo ecológico. Por otro parte, el desarrollo de la ganadería intensiva para producir leche, la producción de huevo, la demanda de carne porcina y avícola, debido a su crecimiento demandan una gran cantidad recursos naturales. A pesar del fuerte crecimiento de la demanda, estos sistemas productivos todavía deben resolver los problemas que enfrentan en cuanto al uso eficiente de la energía y el manejo adecuado de desechos orgánicos, que son fuente considerable de contaminación de suelos y aguas.

La erosión del suelo se considera como uno de los problemas ecológicos más severos de los recursos naturales renovables de México, ya que anualmente se pierden hectáreas de suelo fértil, principalmente a causa del desarrollo urbano, lo que provoca que el cambio en el uso del suelo genere desertificación de los terrenos o éstos se conviertan en grandes superficies impermeables.

La fragmentación y la destrucción de los hábitats naturales provocan importantes efectos negativos en la conservación de la biodiversidad. Cuando se perturba un área natural, se pueden registrar cambios significativos en la intensidad de luz, la humedad y la temperatura, lo que altera el funcionamiento del ecosistema. Estos cambios físicos pueden propiciar alteraciones biológicas que afectan el hábitat de la fauna, lo cual incentiva su movilidad y el riesgo a su depredación o a la proliferación de especies invasoras.

Debido a la diversidad de climas y ecosistemas que existen en el país, los riesgos naturales que atentan contra la biodiversidad aumentan considerablemente. Entre estos riesgos se encuentran los denominados incendios forestales, y los huracanes y tormentas de gran magnitud.

Los ecosistemas acuáticos, tales como, ríos, lagos, lagunas y mares, son objeto de severos impactos por la actividad humana, debido principalmente a que se vierten en ellos grandes cantidades de contaminantes.

La pesca supone una ocupación básica en el país para la supervivencia de muchas comunidades costeras, pero en la actualidad la práctica rebasa la capacidad de recuperación de la fauna marina; es decir, las tasas de reproducción son menores que la captura de peces. Adicionalmente se puede sumar la mortalidad de fauna marina en los ecosistemas acuáticos que, como resultado de la contaminación, se rebasan los umbrales máximos para la vida marina.

1.3.2 Amenazas a nivel de especies

Existe una serie de impactos negativos sobre la biodiversidad que ponen en riesgo la preservación de cada especie. Éstos comprenden los siguientes:

- El comercio ilegal de especies ejerce presión sobre especímenes terrestres o acuáticos considerados de alto valor, con fines de ornato o sólo por afición. Las ganancias generadas por el mercado internacional de fauna silvestre son muy elevadas. Este comercio repercute en la abundancia y distribución en la geografía nacional de especies.
- La introducción de especies es un factor que atenta contra la permanencia y estabilidad de las poblaciones locales y los ecosistemas, ya que un agente externo puede poner en peligro rápidamente a ciertas especies de fauna local.
- La sobreexplotación de especies, tanto en México como en otros países, ha alterado las dinámicas poblacionales de los ecosistemas y reduciendo el equilibrio de los ecosistemas.
- La destrucción de hábitats, junto con la sobreexplotación y la depredación de especies, ha llevado a muchas de ellas a extinguirse o al borde de la extinción. Aunque la extinción es un proceso natural, en las últimas décadas la intervención del ser humano ha incrementado la tasa promedio de pérdida de especies, al registrarse aproximadamente 5.6 especies extintas al año.

1.3.3 Amenazas a nivel genético

En años recientes, la alteración de la biodiversidad a nivel genético ha proliferado, lo cual provoca pérdida genética, alterando los ecosistemas, generando cambios no necesariamente positivos (aunque tampoco del todo negativos), pero que sí repercuten en los costos, por ejemplo, de semillas para nuevos cultivos modificados que resistan las condiciones climáticas actuales.

Estos cambios pueden atraer más especies invasoras o plagas.

1.4 Impacto ambiental de las carreteras

Un problema actual es cómo hacer compatibles el desarrollo y operación de la infraestructura (vivienda, industria, transporte, etc.) con los ecosistemas, ya que los impactos ambientales que generan son muy significativos.

Los principales impactos que los caminos generan a la biodiversidad estriban en la fragmentación de los hábitats; la reducción de zonas forestales por la construcción de carreteras (que ha resultado un impacto significativo por el alto valor que tienen dichas especies para absorber GEI); además de que las carreteras son también un vector para facilitar la dispersión de especies no autóctonas e invasoras, junto con la mortalidad de especies por atropellamiento, y repercusiones ambientales en el suelo y el agua, entre otros.

El paisaje también es objeto de impacto ambiental, desde el punto de vista visual, que en la mayoría de los casos es identificado como un efecto negativo, pero en otros, mejora la calidad de las zonas donde se construye o moderniza una carretera.

1.4.1 Fragmentación de hábitats

Este efecto ocurre cuando un hábitat es dividido en más fragmentos por diversos motivos. Este efecto se asocia a la construcción de carreteras o líneas de ferrocarril, ya que al tratarse de infraestructuras lineales, seccionan el ecosistema.

Cuando una carretera fragmenta un ecosistema se producen dos importantes impactos ambientales: el efecto barrera y el efecto de borde.

El efecto barrera se genera cuando se limita la movilidad de las especies de un punto a otro dentro del ecosistema fragmentado, esto debido al obstáculo físico que representa una carretera ya construida.

El efecto barrera que las carreteras producen en las regiones ambientales trae consigo una importante mortalidad de especies. La figura 2 ilustra claramente el efecto barrera que producen las carreteras en lo individual o en una red vial.

El efecto barrera tiene importantes efectos además, en la reproducción de las especies y en las cadenas alimenticias. Este fenómeno también aumenta la movilidad de las especies, por eso es muy importante realizar el monitoreo de la biodiversidad, particularmente de la fauna, para aumentar su preservación y protección, sobre todo en carreteras ya construidas.

Por otro lado, el efecto de borde se presenta cuando se fragmenta un ecosistema, y por lo tanto las condiciones bióticas y abióticas de los fragmentos y de la matriz circundante cambian.

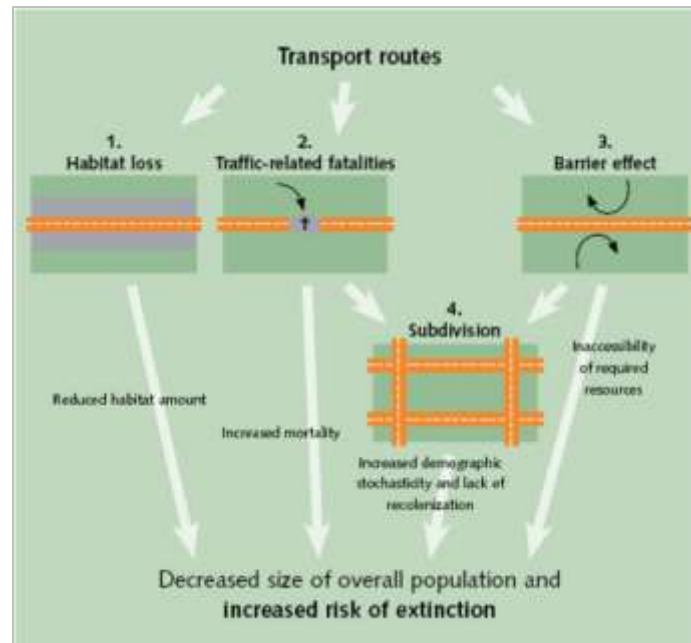


Figura 2. Efecto barrera de las carreteras sobre la mortalidad y movilidad de la fauna

Fuente: PIARC, 2011.

En el caso de las carreteras, este efecto se presenta en las proximidades a los bordes de la vía, donde se generan condiciones diferentes a las originales, tales como: temperaturas más elevadas, menor humedad, mayor radiación y mayor vulnerabilidad al viento.

1.4.2 Mortalidad de especies

La muerte de especies puede deberse directamente al atropellamiento de ejemplares de fauna durante la construcción de una carretera y que suele ser de tipo accidental o por estrés o ingesta de algún residuo sólido generado por el personal de la obra.

Otros casos de muerte de animales obedecen precisamente al efecto barrera comentado en el punto anterior, donde las especies de fauna por algún motivo natural tienen la necesidad de cruzar la carretera, y al ser una especie más vulnerable, suele ser atropellada, por lo que frecuentemente en las carreteras se observan cuerpos de animales muertos.

Este punto sobre el atropellamiento de fauna por vehículos en las carreteras se analizará más adelante en la presente investigación.

1.4.3 Cambios en los patrones reproductivos

La alteración de un hábitat genera cambios en las actividades reproductivas de algunas especies de fauna, lo cual puede causar su posible extinción en la región impactada.

Algunos especialistas sugieren que el ruido del tránsito, la contaminación lumínica de los vehículos durante la operación nocturna y los residuos sólidos junto a la carretera pueden afectar de manera más significativa la mortalidad de especies y su ciclo reproductivo.

La presencia de seres humanos en los ecosistemas afecta a la fauna, ya que genera un desgaste adicional de energía para evadirlos, la cual podría haber aprovechado para otras actividades, incluida la reproducción. De esta manera para algunas especies en particular, la perturbación que genera la presencia humana afecta la abundancia de las especies.

1.5 La fauna y las carreteras

En México, actualmente en la construcción de carreteras se cuenta con medidas de mitigación que devuelven la conectividad ecológica en los ecosistemas fragmentados, asegurando el movimiento seguro de la fauna junto a la carretera y cruzándola; sin embargo, aquellas carreteras que no se sometieron a un estudio de impacto ambiental y su evaluación correspondiente carecen de medidas de mitigación orientadas a disminuir las consecuencias negativas en el medio ambiente.

La importancia de estudiar la interacción de las carreteras con el medio ambiente ha generado una nueva subdisciplina de la ecología, llamada “Ecología de carreteras”. Se trata de una ciencia aplicada y gran parte del trabajo en este campo se esfuerza por encontrar formas de minimizar los efectos perjudiciales que los sistemas de carreteras pueden tener en las poblaciones de vegetación y animales, en la calidad del aire y el agua, así como en las comunidades humanas.

Probablemente el impacto más importante de las carreteras en las poblaciones de fauna silvestre es la mortalidad directa de los animales, ya que son golpeados y asesinados por los vehículos en las carreteras: “colisiones de la fauna-vehículos”.

Algunas especies son más susceptibles a ser atropelladas que otras, principalmente por la baja velocidad a la que se mueven.

Un estudio realizado por un grupo de ecología de carreteras de Ontario sugiere que las carreteras pueden tener los siguientes efectos sobre la fauna (ver tabla 1.1).

Tabla 1.1 Características y efectos de las carreteras en la fauna

Características que hacen a las especies vulnerables en las carreteras	Efecto de la carretera		
	Mortalidad en carreteras	Pérdida de hábitat	Reducción de la conectividad
Atracción hacia la orilla del camino	X		
Incapacidad para evitar el paso de vehículos	X		
Alta movilidad intrínseca	X		
Especie generalista en la ocupación del hábitat	X		
Necesidades de múltiples recursos	X		X
Requerimientos de grandes áreas / Baja densidad	X	x	X
Baja tasa de reproducción	x	X	X
Comportamiento para evitar las carreteras			X

Fuente: Ontario Road Ecology Group, 2010.

La pérdida de hábitat por la construcción de las carreteras incrementa la movilidad de las especies, con lo que se generan cambios en el ecosistema y se alteran otros ecosistemas, por mencionar algunos efectos. Estas perturbaciones afectan a las poblaciones de fauna y sus procesos.

La fragmentación excesiva de los ecosistemas por la construcción de carreteras altera la movilidad de la fauna y da lugar a un aumento de las colisiones vehículo-fauna, además de obligar a los animales a recorrer nuevos caminos o andar trayectos más largos para acceder a los recursos que requiere para su sobrevivencia.

Contar con una conectividad adecuada que permita el tránsito de especies de fauna silvestre a través del paisaje sin obstáculos, constituye una importante medida de mitigación, elemento del que mucha infraestructura para el transporte carretero carece, y representan una barrera para el movimiento de la fauna.

La presencia de la circulación vehicular por carretera tiene impactos negativos en el suelo, el agua y la calidad del aire, principalmente, por los contaminantes emitidos y los residuos sólidos generados. Estos efectos degradan los hábitats y, por lo tanto, afectan los ecosistemas, además de motivar la movilidad de la fauna hacia otros sitios.

Al verse obligadas a moverse para satisfacer sus necesidades, las especies faunísticas corren riesgos, al tener que interactuar con vehículos y potencialmente pueden resultar atropelladas y muertas.

Las figuras 3 y 4 muestran dos ejemplos en México de fauna cruzando carreteras.



Figura 3. Tortuga cruzando la carretera Monterrey-Nuevo Laredo

Fuente: IMT, 2010.



Figura 4. Osos cruzando vialidad en el Área Metropolitana de Monterrey

Fuente: Las Noticias de Televisa Monterrey, 2015.

1.5.1 Atropellamiento de fauna

En los últimos años, como parte de los estudios realizados sobre accidentes carreteros, se han analizado aquellos que implican una colisión con algún animal, ya sea doméstico o silvestre.

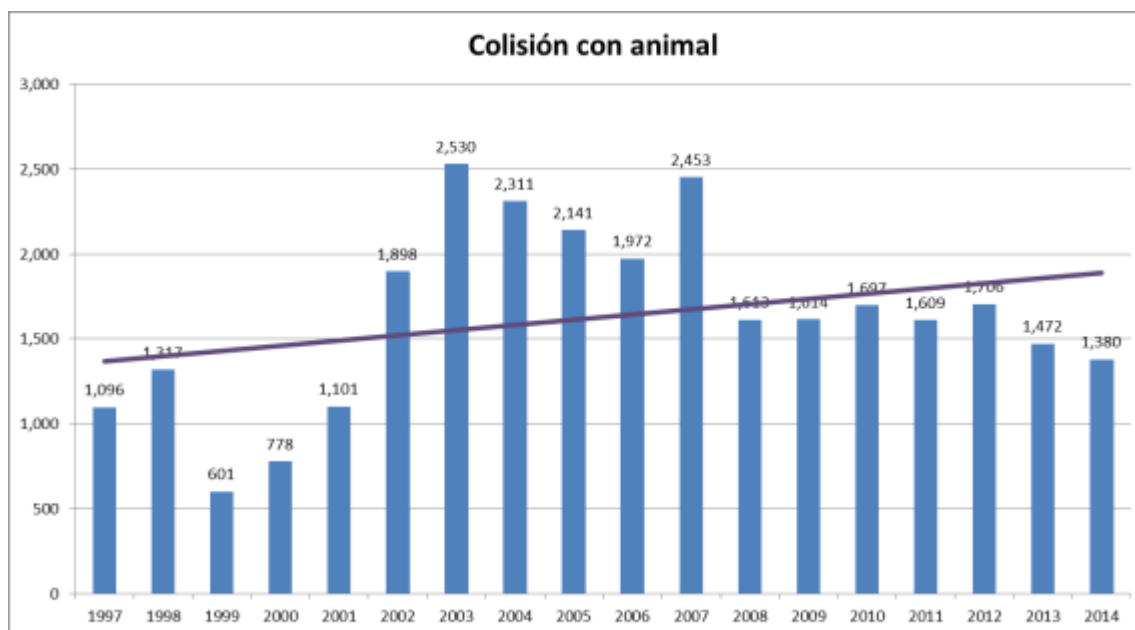


Figura 5. Número de colisiones vehículo-animal en México, 1997-2014

Fuente: INEGI, 2015.

De la estadística de accidentes en México, registrados y reportados al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), de 1997 a 2014, el total de accidentes automovilísticos fue de 7'003,762, de los cuales 29,289 fueron colisiones con animal, es decir, un 0.4% en el periodo de análisis.

La figura 5 muestra el comportamiento de los accidentes carreteros en el periodo 1997-2014, donde hubo animales implicados en la colisión.

Estudios realizados a nivel de especie en otros países sugieren que los organismos más perjudicados son del grupo de los vertebrados, tales como: mamíferos, anfibios, aves y reptiles. En el país, no se cuenta con estudios sobre la mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento; la información disponible forma parte de algunos proyectos de tesis o de algunos estudios de organizaciones no gubernamentales que protegen a alguna especie en particular.

Las figuras 5 y 6 muestran una serie de imágenes de especies atropelladas en México, cuyas fuentes corresponden a algún estudio o nota periodística.

	
<p>Mono aullador atropellado, Tabasco (vozsaraguato.blogspot.com)</p>	<p>Mono atropellado (www.change.org)</p>
	
<p>Armadillo atropellado (www.bionero.org)</p>	<p>Iguana verde atropellada (www.ignaciomartinez.com.mx)</p>

Figura 5. Fauna atropellada en México



Figura 6. Fauna atropellada y cruzando carreteras en México

Las imágenes anteriores muestran la problemática en las carreteras; sin embargo, resultan insuficientes para realizar un monitoreo del cruce de la fauna y de los peligros a los que está expuesta al colisionar contra un vehículo. Información como la temporalidad en que suceden los eventos es importante para el análisis.

1.5.2 Colisión Vehículo-Animal

Las colisiones vehículo-animal se clasifican en dos tipos: las que ocurren con animales domésticos (Colisión con Animal Doméstico, CAD) y con fauna silvestre (colisión con Animal Silvestre, CAS).

Las consecuencias son de gran alcance: incluyen costos ambientales por la pérdida de especies de fauna, suponen una baja seguridad vial que repercute en accidentes que pueden implicar pérdidas humanas, y estos accidentes también tienen impactos en la economía del país y su sociedad.

En Canadá, por ejemplo, de acuerdo con un estudio desarrollado por la Fundación para la Investigación de Accidentes de Tránsito (*Traffic Injury Research Foundation*), asume que las colisiones vehículo-animal no sólo resultan en muertes y lesiones graves, sino que colocan en peligro de extinción a las especies o al borde de desaparecer, por lo que los atropellamientos de fauna son una seria amenaza para la diversidad.

Para conocer la dimensión del problema, además de las estadísticas mostradas en el apartado 1.5.1, se requiere información de las circunstancias que enmarcan las colisiones vehículo-animal, ya que existen factores humanos, medioambientales, y los propios de las especies que conllevan a accidentes.

Según la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (*U.S. Federal Highway Administration, FHWA*), los aspectos a considerar en una investigación sobre accidentes son los siguientes:

- magnitud del accidente
- tasa de crecimiento
- distribución temporal: hora del día y estación del año
- severidad de las heridas humanas y otras fatalidades
- tipo de instalaciones de la carretera
- velocidad y volumen de tránsito
- condiciones climáticas
- tipo de especie animal
- tipo de paisaje junto al camino
- número de vehículos involucrados
- densidad poblacional de la especie
- características del conductor

Para poder llevar a cabo un análisis de las colisiones, se requiere la generación detallada tanto de bases de datos de organizaciones dedicadas a la protección de especies, como estadísticas nacionales de siniestralidad.

No en todos los casos, los accidentes son registrados, por lo que será necesario generar otras estadísticas, tales como la remoción de cuerpos de animales atropellados, que se reporten a lo largo de una carretera. En estos casos no existe un reporte de accidente y, por lo general, son las dependencias de transporte las que registran estos hechos al realizar actividades de mantenimiento de carreteras.

La investigación sobre las colisiones vehículo-animal tiene dos propósitos fundamentales: reducir los accidentes y aumentar la seguridad de los conductores en las carreteras, y por otro lado minimizar el impacto en las poblaciones de especies de fauna.

Con este fin, la investigación y el análisis respecto de las colisiones vehículo-animal buscarán:

- Determinar la magnitud de las colisiones vehículo-animal.
- Identificar los puntos negros de las colisiones vehículo-animal y la tasa de mortalidad en las carreteras.
- Identificar los factores que influyen en las colisiones vehículo-animal.
- Formular modelos que permitan predecir colisiones vehículo-animal y su probabilidad de ocurrencia.
- Priorizar los esfuerzos de mitigación.
- Evaluar los métodos de análisis de las colisiones vehículo-animal.
- Crear bases de datos sólidas para la protección de especies en las carreteras.

En la investigación sobre las colisiones vehículo-animal, no basta con conocer la ubicación de los accidentes, sino que es necesario efectuar un análisis más profundo del entorno a fin de denotar los factores que potencian la incidencia de accidentes en ese punto. En ese sentido, deben contemplarse las características del paisaje que influyen en determinados tramos de las carreteras, la falta de visibilidad del conductor para observar a tiempo la fauna al cruzar, el uso del suelo de los terrenos adyacentes y el tipo de vegetación que existe y puede estar asociada al número de las colisiones vehículo-animal.

La identificación de corredores biológicos naturales puede ayudar a encontrar los puntos de acceso de la fauna a la carretera. La topografía y las características conductuales de las especies también constituyen un factor que influye en el atropellamiento de las especies.

1.5.3 Factores que influyen en el atropellamiento

El número de atropellamientos o de las colisiones vehículo-animal, y su frecuencia, está relacionado a múltiples factores, que van asociados con la infraestructura carretera, el tránsito vehicular, el tipo de vehículos que circulan en la vía, parámetros macroscópicos y microscópicos del tránsito, el comportamiento de las especies y el ecosistema adyacente a la carretera.

Para algunas especies, el volumen vehicular en las carreteras representa un factor que incide directamente en su atropellamiento, y no necesariamente están asociado con la velocidad de movilidad de la especie, por lo que en cada caso debe realizarse un estudio muy particular, relacionando la especie, la velocidad de cruce, el volumen vehicular y su velocidad, para analizar si la probabilidad de atropellamiento es alta, a fin de evitar que sea un punto negro para la mortalidad de las especies.

La velocidad de los vehículos, particularmente en las autopistas, influye en el atropellamiento de los animales. Otras variables del tránsito como la densidad, las brechas, espaciamientos, etcétera influyen también en el atropellamiento de especies, dado que éstas no siempre encuentran espacios suficientes para cruzar las vías.

Ciertos patrones asociados al comportamiento de las especies, que suelen ser en algunos casos estacionales, inciden en más colisiones vehículo-animal, con un mayor número de fauna muerta en las carreteras. Estos patrones conductuales corresponden a migración, reproducción, apareamiento, abundancia, y búsqueda de alimentos, entre otros.

Arroyave *et al.* exponen en su investigación que las carreteras suelen ser un elemento atractivo para ciertos animales. Los reptiles, tales como culebras, lagartos e iguanas, al ser de sangre fría requieren regular su temperatura corporal mediante la absorción de calor del medio, por lo cual se acercan a las carreteras para aprovechar el calor absorbido por el pavimento, tanto en el día como en la noche. Algunos pájaros se alimentan de pequeños granos de arena del borde de la vía para tener una mejor digestión de las semillas; ciertos mamíferos se acercan a consumir las sales que se aplican para descongelar el hielo de los pavimentos en temporada invernal. Los venados y otros herbívoros se alimentan de la vegetación que crece junto a la carretera. También se ven amenazados los animales carroñeros como buitres, cuervos, coyotes y mapaches que se acercan a la vía para comer los animales que se encuentran muertos sobre ella. Los residuos orgánicos arrojados a la carretera son fuente de alimento para distintos animales que se acercan a consumirlos, con el riesgo de ser atropellados.

1.5.4 Impacto económico de las colisiones vehículo-animal

La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (*U.S. Federal Highway Administration, FHWA*), con base en diferentes estudios, estimó costos asociados a los daños ocasionados a instalaciones, heridas humanas, muertes y reparación de vehículos. Estos costos son importantes cuando se desea analizar el costo-beneficio en la implementación de medidas de mitigación encaminadas a reducir colisiones.

La reparación de vehículos, por ejemplo, sumó un total de 2,000 dólares estadounidenses (\$EU) cuando se trató de colisiones con venados, \$EU 3,000 con renos y \$EU 4,000 con alces.

Los costos derivados de la atención de heridas humanas, emanados de un análisis realizado por la FHWA con base en investigaciones internacionales, se muestran en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Costo promedio por tipo de herida humana por colisiones vehículo-animal (USD)

Tipo de herida humana	Venado	Reno	Alce
Posible	627	1254	2508
Evidente	887	1775	3550
Incapacidad/Severo	1187	2374	4749
Total	2702	5403	10807

Fuente: FHWA, 2008

Las pérdidas humanas también representan costos importantes en las colisiones vehículo-animal. Otros eventos asociados a accidentes se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Costo estimados para colisiones vehículo-animal (USD)

Descripción	Venado	Reno	Alce
Costo de reparación del vehículo por colisión	1840	3000	4000
Costo de heridas humanas por colisión	2702	5403	10807
Costo de pérdidas humanas por colisión	1671	6683	13366
Atención de accidentes e investigación	125	375	500
Valor monetario del animal por colisión	2000	3000	2000
Remoción y disposición del cuerpo por colisión	50	100	100
Total	8388	18561	30773

Fuente: FHWA, 2008

Por ello, resulta importante el monitoreo de la fauna, tanto de su movilidad como de su mortalidad.

2 Monitoreo de la fauna

Los hábitats naturales constituyen entidades territoriales susceptibles de reaccionar frente a cambios producidos por el impacto de infraestructuras destinadas a transporte. Los efectos observados en el hábitat natural son a menudo complejos y resultan de una combinación de perturbaciones; por ello, resulta necesario darle seguimiento mediante tareas de monitoreo.

El monitoreo ambiental en carreteras es un sistema mediante el cual se evalúa el impacto ambiental ocasionado, mediante mediciones periódicas y la utilización de indicadores ambientales. Este método se utiliza comúnmente para el seguimiento y control de los impactos ambientales durante la operación de la infraestructura del transporte, aunque también se contempla en las etapas de construcción.

El monitoreo ambiental tiene como objetivo obtener información sobre el estado que guardan los diferentes componentes ambientales en el área de influencia de una carretera. Ello incluye la medición de la efectividad de las medidas de mitigación preventivas o correctivas implementadas, considerando los estándares establecidos en la legislación de cada país, de acuerdo con las técnicas e indicadores referidos en la misma legislación.

Un programa de monitoreo ambiental evalúa de manera periódica, integrada y permanente el estado de los recursos ambientales, con el fin de obtener información para la toma de decisiones dirigidas a la preservación del medio ambiente y a la sustentabilidad de la infraestructura para el transporte.

Entre otros aspectos, el monitoreo debe incluir mediciones del estado que guardan los diferentes componentes ambientales y sus tendencias, un análisis de las amenazas que representan para el medio ambiente, proveer las acciones necesarias para el control del impacto, así como definir el esquema para monitorear el progreso de las medidas adoptadas y respaldar la toma de decisiones. La información obtenida mediante los indicadores ambientales debe ser compatible con indicadores definidos en el ámbito internacional, que en todo caso se establecieron con el propósito de proteger la salud humana.

El monitoreo de la flora y la fauna ha sido motivo de estudio en algunos países, donde se han concebido programas específicos para monitorear el posible efecto que ocasionan las carreteras en la biodiversidad.

Las técnicas más empleadas en la integración de un inventario de especies consisten en realizar evaluaciones por cuadrantes y observar las conductas de las especies, incluido el estrés.

Cabe señalar que el tipo de monitoreo, el método utilizado y los objetivos que se plantean varían en función del tipo de proyecto de que se trate. En el campo de la biodiversidad, el monitoreo suele basarse en los inventarios de especies realizados específicamente para cada proyecto, y se lleva a cabo por expertos en la materia.

En la etapa de planificación de un proyecto, el monitoreo va de la mano con el proceso de evaluación del impacto ambiental, que en la mayoría de los países, incluido México, se realiza en observancia de la ley aplicable. Por ello, en cada proyecto de infraestructura carretera en diferentes países se evalúa la fragmentación del ecosistema, se integra un inventario o un censo de especies, se efectúan observaciones y se establece un valor de la calidad ambiental de los componentes del entorno. Con base en dicha información, se establece un diagnóstico ambiental sobre la región donde se construirá una nueva carretera. En algunos países, como México, se pone especial énfasis en el seguimiento de especies protegidas (raras, amenazadas o en peligro), que se encuentran catalogadas en el marco de la normativa respectiva, como especiales y en riesgo.

Durante la etapa de construcción de una carretera, el monitoreo tiene como objetivo proteger a las especies protegidas. En la mayoría de los países, el monitoreo en esta fase depende de los acuerdos establecidos en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), que en algunos casos es condicionado (por ejemplo, en Suiza y Australia), y se extiende durante varios años después de la construcción, en función de si se trata de ecosistemas sensibles o con especies de fauna en riesgo. En Rumania, el monitoreo de fauna usualmente implica observaciones de los cambios en el comportamiento y el estrés de la especie en cuestión como resultado de las obras de construcción.

En la fase de operación de un proyecto, muchos países recurren al monitoreo para evaluar el éxito de las medidas de mitigación propuestas en el EIA. Como parte de esta evaluación, se vigila el cumplimiento de las medidas de mitigación y se lleva a cabo un monitoreo de la mortalidad de fauna, con la fecha y el lugar de la muerte a lo largo de la infraestructura. Al parecer, Francia es de los pocos países que realizan una evaluación final del proyecto, la cual se efectúa de tres a cinco años después de la puesta en marcha de la carretera. Esta evaluación implica monitorear algunos parámetros como la mortalidad de fauna, la efectividad de los pasos de fauna, la evolución de la vegetación natural o la evolución cualitativa de los hábitats. Otros países, como Dinamarca o Finlandia, realizan un monitoreo de los pasos de fauna, crean inventarios de puntos de conflicto entre los animales y el tránsito, aunque sólo lo hacen para algunas autopistas.

El atropellamiento de fauna es un indicador medido en varios países, como Estados Unidos, Canadá, Suecia, España y Dinamarca. La información generada se utiliza para construir modelos y analizar puntos negros, a fin de implementar medidas de mitigación que buscan evitar la mortalidad de animales e incrementar la seguridad de los viajeros en las carreteras.

El monitoreo de la fauna ha demostrado —a través de registros— un aumento en la fragmentación de hábitats, a medida que crecen las redes de carreteras. También ha ayudado a mostrar qué especies son las más afectadas y cómo son impactadas. Esto depende de las regiones geográficas y de los ecosistemas de que se trate. Algunos estudios han mostrado la sensibilidad de ciertas especies al ruido. El monitoreo de los pasos de fauna silvestre ha sido un elemento esencial para la definición de un diseño adecuado, al evitarse pasos estrechos que han resultado ser menos eficaces.

Existen actualmente muchos estudios de monitoreo de especies, realizados específicamente en varios países como Estados Unidos y Canadá, mediante los cuales es posible determinar corredores biológicos y establecer medidas óptimas para asegurar la preservación de las especies y evitar su atropellamiento en las carreteras.

A pesar de la utilidad de aplicar técnicas normales de monitoreo para determinar los impactos en la fauna, en la actualidad existen diferentes herramientas, con base en sistemas de información geográfica, así como aplicaciones en páginas web o incluso para dispositivos móviles que pueden ayudar a alcanzar una mayor eficacia en la tarea de monitoreo de la fauna, ya sea en su movilidad o cuando ésta es atropellada en las carreteras en su intento por cruzarlas.

A continuación se presentará un resumen de algunas herramientas, que a juicio de los autores, son pertinentes para la presentación de la aplicación desarrollada con fines de monitoreo de fauna en carreteras mexicanas.

2.1 Herramientas para el monitoreo de fauna

Como parte de la revisión de la tecnología de vanguardia disponible, se identificaron diversas herramientas informáticas y programas dedicados al monitoreo de la fauna, estas incluyen mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces e invertebrados.

2.1.1 aVerAves

aVerAves es la versión en español del programa *eBird* y fue creado por Laboratorio de Ornitología de Cornell y la Sociedad Nacional Audubon de Estados Unidos, en colaboración con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de México. *aVerAves* es una herramienta sencilla que permite llevar un seguimiento de las aves que observes en cualquier lugar en México o el resto de América del Norte (Canadá y Estados Unidos).

En cualquier momento, se puede almacenar y recuperar la información de las observaciones de aves que el usuario puede realizar prácticamente desde cualquier lugar que permita esta actividad. El usuario también puede tener acceso a toda la base de datos históricos para saber qué es lo que otros observadores de aves están reportando desde diferentes lugares de México.

La base de datos de *aVerAves* es utilizada por aficionados, científicos, manejadores de fauna y conservacionistas que quieren saber más sobre la distribución y patrones de movimiento de las aves a través del país y de América del Norte.

La base de datos de *aVerAves* que los usuarios ayudan a crear puede utilizarse en los siguientes casos:

- Llevar un seguimiento de observaciones personales y mantener listados de todas las aves que, como usuario, haya uno visto. Se puede visualizar por localidades específicas o por períodos específicos de tiempo; también es posible crear listados de aves registradas por otros usuarios y para distintas localidades y fechas.
- Otros observadores de aves y naturalistas aficionados podrán saber más sobre las aves que hay en las diferentes regiones.
- Científicos podrán descubrir patrones de distribución y movimientos de las aves en todo México, incluyendo rutas migratorias, áreas de invernación y reproducción, así como fechas de llegada y partida, expansiones o contracciones de las áreas de distribución de las especies y muchas otras relaciones ambientales importantes.
- Conservacionistas pueden identificar áreas o sitios importantes para las aves, a partir de las áreas de distribución actuales, y dar seguimiento a las tendencias de las poblaciones para ayudar a diseñar planes de manejo o recuperación para especies amenazadas o en peligro de extinción.
- Educadores ambientales pueden utilizar la base de datos de *aVerAves* para enseñar a sus alumnos sobre el trabajo de los científicos y en general sobre las aves, lo que comprende la obtención, análisis e interpretación de resultados.
- Cualquier persona puede descubrir dónde se encuentran las especies a lo largo del año; qué aves están regularmente en una localidad específica en México; cuándo llegan o cuándo se van ciertas especies a sus áreas de invernación o reproducción, y muchas otras posibilidades.

2.1.2 eBird

Lanzado en 2002 por el Laboratorio de Ornitología de Cornell y la Sociedad Nacional Audubon, eBird¹ proporciona fuentes de datos ricos en información básica sobre la abundancia y distribución de las aves en una variedad de escalas espaciales y temporales.

El objetivo de eBird es maximizar la utilidad y accesibilidad de la gran cantidad de observaciones de aves hechas cada año por los observadores de aves recreativas y profesionales. Está acumulando uno de los recursos de datos de biodiversidad más grandes y de mayor crecimiento en la existencia. Por ejemplo, en mayo de 2015, los participantes informaron de más de 9.5 millones de observaciones de aves en todo el mundo.

Las observaciones de cada participante se unen a las de otros en una red internacional de usuarios de eBird. Este programa comparte estas observaciones con una comunidad global de educadores, administradores de tierras, ornitólogos y biólogos de la conservación. Con el tiempo estos datos se convertirán en la base con la cual se alcanzará una mejor comprensión de la distribución de las aves en todo el hemisferio occidental y más allá.

Mediante una interfaz web sencilla e intuitiva se involucra a decenas de miles de participantes a presentar sus observaciones o ver los resultados a través de consultas interactivas a la base de datos de eBird. eBird anima a los usuarios a participar proporcionando herramientas de Internet que mantienen sus registros de aves personales y les permiten visualizar datos con mapas interactivos, gráficos y diagramas de barras. Todas estas características están disponibles en inglés, español y francés.



Figura 7. Imagen de la aplicación móvil eBird

Fuente: ebird.org.

¹ <http://ebird.org/content/ebird/>.

2.1.3 Centro de Intercambio de Información sobre Colisiones Venado-Vehículo

En 2001, el Departamento de Transporte de Wisconsin (*Wisconsin Department of Transportation*) creó el Centro de Intercambio de Información sobre Colisiones Venado-Vehículo (*Deer-Vehicle Crash Information Clearinghouse*).²

Dicho centro ha alcanzado un extenso conocimiento sobre las colisiones venado-vehículo, además de permitir evaluar la efectividad de las 16 medidas de mitigación implementadas.

La herramienta se elaboró bajo la óptica del investigador y analista en tránsito y transporte. La información es útil para los profesionales que, en la toma de decisiones, se enfrentan a la formulación de medidas para evitar las colisiones venado-vehículo. La herramienta contiene tres niveles: la descripción general y revisión de la literatura en la materia, los resultados y las conclusiones.

El sitio de la herramienta muestra las estadísticas de accidentes en Estados Unidos, por entidad federativa, y las medidas a detalle para mitigar las colisiones. La información se recaba mediante encuestas realizadas a escala estatal.



Figura 8. Imagen de la herramienta Deer-Vehicle Crash Information Clearinghouse

Fuente: www.deercrash.org.

2.1.4 Programa para la Previsión de las Colisiones con la Fauna Silvestre

El Programa para la Previsión de las Colisiones con la Fauna Silvestre (*Wildlife Collision Prevention Program, WCPP*) es una alianza creada en el año 2001 por la Fundación para la Conservación en Columbia Británica (*British Columbia Conservation Foundation, BCCF*) y la Insurance Corporation of British Columbia (ICBC), en respuesta al creciente número y la gravedad de las colisiones de vehículos con la fauna en Columbia Británica, Canadá.

² www.deercrash.com.

El programa es una iniciativa encaminada a reducir las colisiones de vehículos con la fauna silvestre a lo largo de las carreteras, mediante la concientización, la educación vial y la investigación.



Figura 9. Logotipo del Programa para la Previsión de las Colisiones con la Fauna Silvestre³

Fuente: WCPP.

Las estadísticas de transporte muestran que de 1998 a 2007, se reportaron 93,853 animales muertos en las carreteras de Columbia Británica, de acuerdo con información obtenida del programa. Se estima que este número puede representar entre 25 y 35% del número real de fauna silvestre muerta. El total real en el período de diez años (1992-2002) podría ser tan alto como 200,508 o más. La diferencia se debe a la fauna muerta en el sitio y aquella que eventualmente muere lejos de la carretera, pero a causa del atropellamiento, y el cuerpo desaparece por los depredadores naturales.

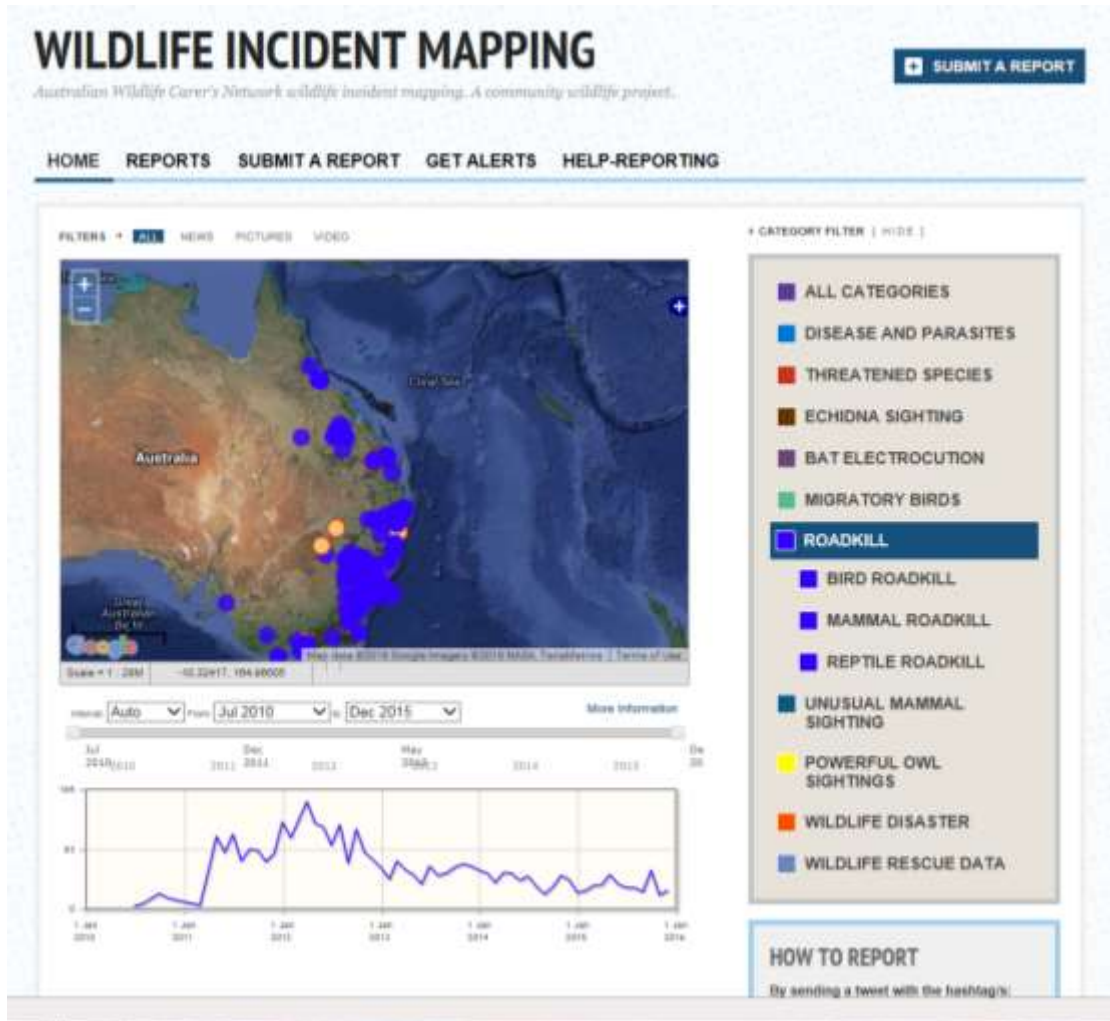
Aproximadamente el 80% de las colisiones de vehículo-fauna involucra venados. Los alces, renos, osos, coyotes y otros animales salvajes constituyen el 20% restante. Las colisiones con especies silvestres más pequeñas son muy comunes, pero debido a que causan menor daño a la propiedad privada o la vida humana, rara vez aparecen en las estadísticas oficiales.

Con el objetivo de reducir las colisiones, aumentar la seguridad vial y preservar la fauna, la herramienta proporciona información de los sitios donde ocurren más frecuentemente las colisiones, cuándo es más probable que ocurran, qué pueden hacer los conductores para reducir la probabilidad de verse involucrados en un accidente, qué deben saber los conductores sobre el comportamiento de la fauna, qué debe hacer un conductor si un animal es golpeado y qué están haciendo los administradores de carreteras para reducir los riesgos.

³ <http://www.wildlifecollisions.ca/default.aspx>.

2.1.5 Mapeo de incidentes con vida silvestre

En Australia, se cuenta con un proyecto de mapas dinámicos de incidentes con fauna silvestre (*Wildlife Incident Mapping*), promovido por la Red Protectora de Vida Silvestre de Australia (*Australian Wildlife Carer's Network (AWCN)*). En estos mapas se contemplan diversas causalidades, tales como la muerte en carreteras.⁴



Fuente: AWCN.

⁴ <http://www.wildlifemapping.org/main>.

2.1.6 Cruces para animales

La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (*U.S. Federal Highway Administration, FHWA*) ha creado también el sitio web sobre cruces de fauna (*Critter Crossings*), mediante los cuales se busca conectar los hábitats y reducir la muerte de la fauna en carreteras.⁵

U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

About Programs Resources Briefing Room Contact Search FHWA

Office of Planning, Environment, & Realty (HEP)
Planning • Environment • Real Estate

HEP | Events | Guidance | Publications | Awards | Contacts

Critter Crossings
Linking Habitats and Reducing Roadkill

Contacts
For more information, please contact [Daniel Buford](#).

FHWA → Environment

Critter Crossings

Enter >>>

Updated: 7/18/2012

HEP Home | Planning | Environment | Real Estate

U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Privacy Policy | Freedom of Information Act (FOIA) | Accessibility | Web Policies & Notices | No Fear Act | Report Waste, Fraud and Abuse
U.S. DOT Home | USA.gov | WhiteHouse.gov

Federal Highway Administration | 1200 New Jersey Avenue, SE | Washington, DC 20590 | 202-366-4000

Figura 11. Vista de la página principal

Fuente: FHWA.

⁵ http://www.fhwa.dot.gov/environment/critter_crossings/.

De acuerdo con la FHWA, millones de vertebrados (aves, reptiles, mamíferos y anfibios) mueren cada año a causa de vehículos que circulan por carreteras de Estados Unidos.

Por ejemplo, la muerte por atropellamiento ha ocasionado una disminución en la población del ocelote, gato en peligro de extinción, designado como tal por el gobierno federal, a unos 80 individuos. Animales como las tortugas y las salamandras, que son de lento movimiento, se encuentran en alto riesgo de ser atropellados, especialmente cuando tratan de cruzar una carretera para llegar a los sitios de apareamiento o anidamiento, ubicados al otro lado de la carretera.

Grandes grupos de carnívoros como lobos, osos pardos y leones de montaña también son vulnerables, por el simple hecho de que habitualmente tienen que cruzar numerosos caminos.

Las colisiones representan una amenaza lo mismo para seres humanos que para los animales. Cada año, más de 200 conductores mueren y miles más sufren lesiones en colisiones de vehículos con animales, según *The Wildlife Society*.

2.1.7 “Buitre Móvil”

La herramienta “Urubu Mobile” o “Buitre Móvil” es una aplicación desarrollada en Brasil para el monitoreo de fauna atropellada en carretera, de acuerdo con Alex Bager, profesor de ecología en la Universidad Federal de Lavras (UFLA). Esta aplicación ayudará a conocer e identificar con precisión cuántos individuos y de qué especies son atropellados por kilómetro y por día en el país.

El objetivo es crear un banco de datos unificado sobre los atropellos de la fauna salvaje en el país y reunir informaciones que puedan servir como base a políticas o medidas para intentar reducir este tipo de accidentes.

Los investigadores desarrolladores de la aplicación calculan 450 millones al año las muertes de animales por atropellos en Brasil, más de dos veces el número de habitantes del país, a partir de estudios con muestras limitadas.

En 2010, a partir de las investigaciones del Centro Brasileño de Estudios en Ecología de Carreteras (CBEEC) en diferentes ecosistemas y de análisis de especialistas de países como EU y Australia, el investigador de la UFLA calculó en 265 el número de animales muertos al año por kilómetro de carretera en Brasil.

Con los resultados del monitoreo se buscará proponer acciones efectivas para reducir los atropellos de fauna, basados en información concreta, a fin de conservar la fauna salvaje del país. Tras la identificación de los tramos más peligrosos para los animales, es posible sugerir la instalación de túneles, redes de protección, pasadizos aéreos o hasta cuerdas que puedan ser usadas por los animales que viven en los árboles.

El Urubu Mobile también permitirá, con la ayuda de 300 investigadores vinculados al CBEEC, identificar las especies más afectadas. Cada fotografía será analizada por cinco especialistas y la identificación de la especie será incluida en el banco de datos cuando al menos tres de ellos coincidan.



Figura 12. Vista de la aplicación móvil

Fuente: play.google.com

La aplicación también pretende apoyar a los administradores de reservas ambientales atravesadas por carreteras para que adopten medidas de protección más eficaces.

3 Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras en México

A efectos de monitorear la fauna que cruza las carreteras mexicanas y en ocasiones es atropellada, en el Instituto Mexicano del Transporte se decidió crear el “Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras en México”.

El observatorio tiene como objetivo generar una base de datos a partir de fotografías de la movilidad de la fauna en carreteras o de las especies atropelladas en las carreteras.

El proyecto incluye una herramienta informática para monitorear la movilidad y mortalidad de la fauna en las carreteras. El funcionamiento será a través de una aplicación para PC y dispositivos móviles con sistema iOS o Android.

El observatorio fue denominado “WATCH”, en referencia a la palabra en inglés, cuyo traducción al español es “ver”, “mirar”, “observar”, “vigilar” o “prestar atención”, que es lo que finalmente los usuarios de las aplicaciones tendrían que hacer: observar y reportar a la fauna que circunda las carreteras.

En el presente apartado se abundará sobre la herramienta, su funcionamiento y el alcance de la misma.

3.1 WATCH_{MX}

WATCH_{MX} es una plataforma creada para monitorear la fauna que cruza las carreteras en México con el fin de desarrollar planes de mitigación que puedan ayudar a evitar accidentes de los usuarios que utilicen la red de carreteras del país, así como la pérdida de especies por atropellamiento.

WATCH_{MX} es el acrónimo de “Wild Animals in Transport Corridors and Highways”, que en español significa “Animales Silvestres en Corredores de Transporte y Carreteras”.

WATCH_{MX} está disponible en su versión para PC en la liga http://watch.imt.mx/public_html/publico/#/inicio y también puede ser descargada para los sistemas Android en Google Play y iOS en App Store. Las aplicaciones son gratuitas por lo que no generan costos para los usuarios.



Figura 13. Logotipo del Observatorio WATCH_{MX}

Fuente: IMT.



Figura 14. Vista de la aplicación móvil de WATCH_{MX}

Fuente: IMT.

3.2 Funcionamiento de WATCH_{MX}

El funcionamiento del Observatorio se realiza como se muestra en la figura 15, en la aplicación para PC y dispositivos móviles.



Figura 15. Funcionamiento de WATCH_{MX}

Fuente: IMT.

A continuación se describen con mayor detalle los pasos del proceso que sigue la herramienta.

3.2.1 Fotografía del incidente

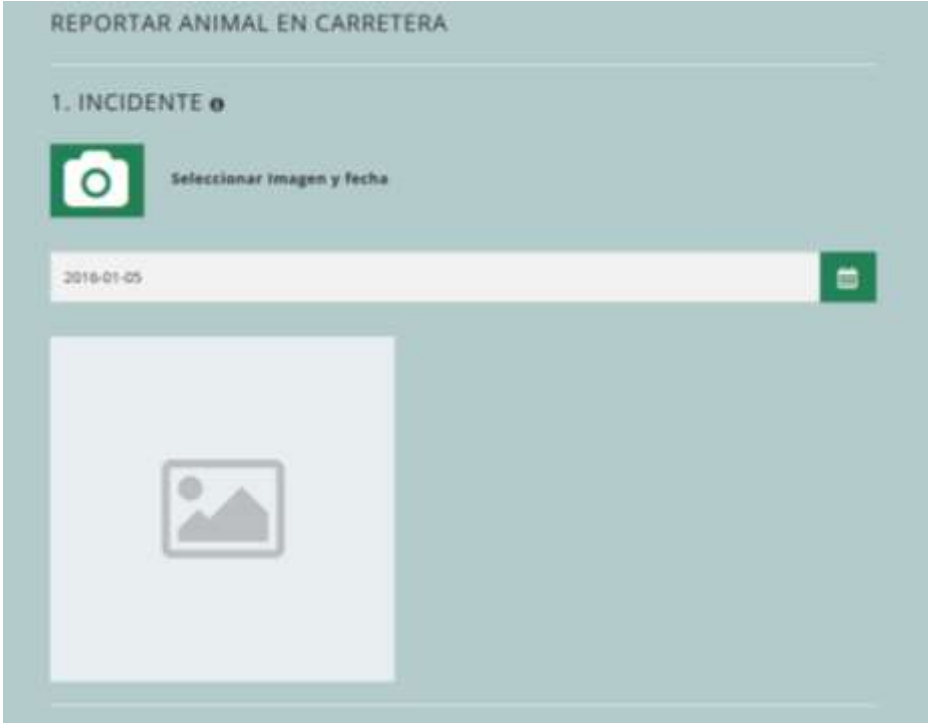
El proceso inicia con la toma de fotografías por parte de los usuarios de la red de carreteras del país.

1. Si al transitar por una carretera mexicana, te percatas de una especie de fauna (venados, reptiles, tortugas, jaguares, etc.) cruzando la carretera o que ha sido atropellada, sin que comprometas tu seguridad vial, toma una fotografía y súbela a través de nuestra página web o por medio de las aplicaciones oficiales para dispositivos móviles.

La participación voluntaria de los usuarios es un elemento vital para alimentar la herramienta, por lo cual su cooperación al hacer el reporte puede darse a través de cualquiera de las formas disponibles.

Para reportar un animal en la carretera basta con acceder al icono “Reportar accidente”, donde se desplegará una pantalla adicional donde se podrá proporcionar la siguiente información.

PASO 1.



The screenshot shows a mobile application interface for reporting an animal on a highway. The title is "REPORTAR ANIMAL EN CARRETERA". Below the title, it says "1. INCIDENTE" with a dropdown arrow. There is a camera icon and the text "Seleccionar imagen y fecha". Below that, a date field shows "2018-01-05" with a calendar icon. At the bottom, there is a large light blue box with a placeholder image icon.

PASO 2.

2. ORIGEN

Estado:

Municipio:

3. DESTINO

Estado:

Municipio:

PASO 3.



PASO 4.

En el caso de las aplicaciones para dispositivos móviles, las fotografías guardan la ubicación georreferenciada, por lo que al reportar un incidente por este medio y al detectar la aplicación que se cuenta con la información del sitio donde fue tomada la fotografía, el paso 2 y 3 se eliminan del proceso, quedando únicamente el paso 1 para subir la fotografía y el paso 4 para enviarla.

3.2.2 Identificación de especies

La identificación de especies se realiza en una página web que funciona sólo en la intranet del Instituto Mexicano del Transporte, a la cual únicamente los administradores de la aplicación tienen acceso.

La visualización de especies se da a través del menú siguiente:



Cada especie puede ser agregada, modificada o eliminada según los requerimientos del análisis.



En este menú se pueden agregar las especies que se requieran asociar a cada fotografía. En esta página se incorpora el nombre común de la especie en cuestión, junto con su nombre científico y dos categorías asociadas a su estado en el país, en términos de la NOM-059-2010. El primer estado puede ser: probablemente extinta en el medio silvestre (E), en peligro de extinción (P), amenazadas (A), sujetas a protección especial (Pr) o sin estatus. El segundo estado puede ser: especie asociada, especie clave, especie endémica o especie principalmente extralimital. La figura 16 muestra el menú para agregar especies.



Figura 16. Menú agregar especie de WATCH_{MX}

Fuente: IMT.

3.2.3 Visualización de incidentes

La herramienta permite visualizar los incidentes que se han registrado, producto de la recepción de fotografías y la información de la ubicación del incidente que los usuarios han enviado.

Visualizar incidentes
Navegar en el menú a la sección de incidentes

Foto	Nombre común - científico	Ubicación	Ruta	Km.	Fecha
	Sin especie - Sin especie	Ver mapa			2015-11-17 19:47:35
	Sin especie - Sin especie	Ver mapa			2015-11-17 19:29:06
	Sin especie - Sin especie	Ver mapa			2015-11-17 19:05:06

Mostrando 1 al 3 de 3 incidentes

La navegación en el menú funciona de la siguiente manera:

Para seleccionar el número de incidentes a visualizar, seleccionar en el filtro de mostrar

Mostrar: 10 incidentes

Para navegar en las páginas de incidentes, usar las flechas

Mostrando 1 al 3 de 3 incidentes « < 1 > »

Para filtrar los incidentes por especie, seleccionar la especie en el filtro

Filtrar por especie:

-- Todas las especies --

Para ver la imagen del incidente en tamaño real, dar click en la imagen



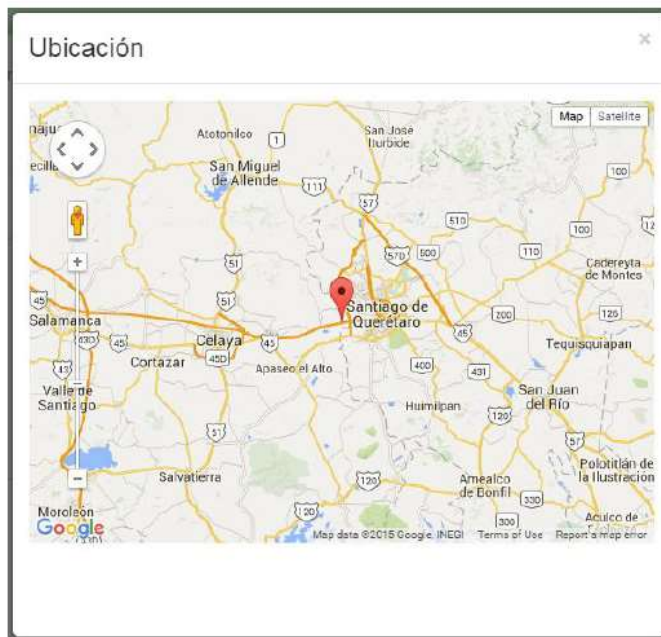
Sin especie - Sin especie Ver mapa 2015-11-17 19:47:33



Para ver la ubicación del incidente en el mapa, dar click en ver mapa



Sin especie - Sin especie Ver mapa 2015-11-17 19:47:33



Modificar incidente

Dar click en el icono de editar



Editar y dar click en el icono de guardar

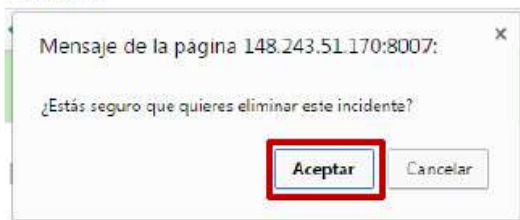


Eliminar incidente

Dar click en el icono de eliminar



Confirmar



3.2.4 Reportes

La plataforma de intranet cuenta, además, con la función para generar reportes, mismos que pueden visualizarse de forma gráfica e interactiva en la página web a la que tiene acceso el administrador. Allí pueden verse los incidentes ocurridos, la localización del incidente y la especie de que se trata.

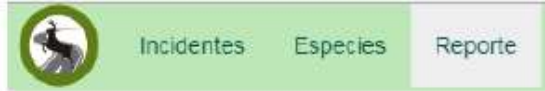
Adicionalmente se puede calcular la ruta e identificar qué especies por carretera son las que están siendo reportadas, a fin de identificar puntos críticos dentro de la red.

El sistema permite también mostrar la herramienta denominada “mapa de calor” que identifica dónde se han concentrado incidentes en cantidad y por especie, e incluye rango de fechas para el análisis de la información.

La vista del sistema de reportes se muestra a continuación.

Mapa

Navegar en el menú a la sección de reporte



Origen

Destino

Fecha inicial

Fecha final

Mostrar mapa de calor



Para ver los detalles de un incidente, dar click en el marcador del mapa



Las acciones de filtrar accidentes, seleccionar el rango de fechas, colocar el mapa de calor, o trazar una ruta de referencia, en función de un origen y destino, se muestran a continuación.

Para filtrar incidentes, seleccionar un rango de fechas y/o especies

Fecha inicial

01/11/2015

Fecha final

17/11/2015

Sin-especie—Sin-especie ✕

Ingrese una nueva especie

Mostrar mapa de calor



Filtrar incidentes

Para trazar una ruta de referencia, escribir origen y destino

Origen

Celaya, Guanajuato

Destino

Querétaro, Querétaro

Calcular ruta

Borrar ruta

Las imágenes por ruta o de los mapas de calor se muestran a continuación.



Para mostrar un mapa de calor, activar la opción de mostrar mapa de calor

Mostrar mapa de calor



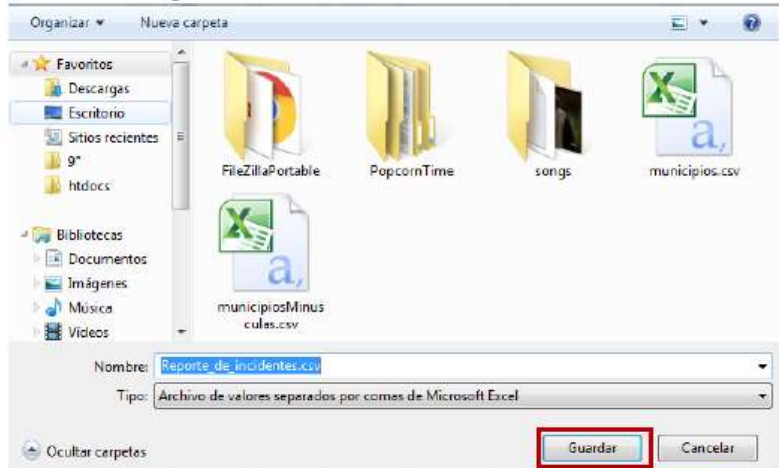
La base de datos se puede exportar a Excel a fin de realizar análisis más exhaustivos.

Excel

En la ventana de incidentes, dar click en *Descargar incidentes a Excel*



Confirmar descarga



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	fecha	ruta	km	lat	long	nombreCientifico	nombreComun	estado	estado2
2	17/11/2015 19:05	null	null	20.5693646	-100.510521	Sin especie	Sin especie	Sin asignar	Sin asignar
3	17/11/2015 19:29	null	null	20.5627847	-100.510963	Sin especie	Sin especie	Sin asignar	Sin asignar
4	17/11/2015 19:47	45D	0	20.5672247	-100.502586	Lepus	Liebre	Amenazadas	No endémica
5									

3.3 Monitoreo a través de WATCH_{MX}

El seguimiento se da a través de fotografías tomadas por usuarios de la red de carreteras y enviadas al Observatorio de movilidad y mortalidad de fauna en carreteras en México del Instituto Mexicano del Transporte, a partir de las cuales se integrará un sistema con los objetivos siguientes:

- Monitorear las especies que cruzan o que son atropelladas en las carreteras.
- Identificar los puntos críticos de la red que ponen en peligro tanto a usuarios de la red como a especies en las inmediaciones.
- Generar reportes para coadyuvar en la toma de decisiones con miras a implementar medidas de mitigación.
- Reducir la mortalidad de especies de fauna en las carreteras y preservarlas para el futuro.
- Aumentar la seguridad de las carreteras.

3.4 Reglas de seguridad para WATCH_{MX}

Antes de tomar una fotografía se debe tener especial precaución y tomar las siguientes medidas:

- Disminuir la velocidad y recordar encender las luces preventivas del vehículo antes de detenerlo.
- Detener el vehículo fuera de la calzada.
- Poner especial atención a la circulación de vehículos para no comprometer la seguridad propia al momento de tomar la fotografía.
- Evitar remover la especie de fauna de la calzada.
- En caso de contar con copiloto, es preferible que éste realice la toma de la fotografía.
- En ningún caso, como conductor, se debe utilizar el teléfono o equipo fotográfico para tomar la imagen sin detener completamente el vehículo en un lugar seguro.

Debe recordarse que la seguridad es primero.

3.5 Políticas de privacidad de WATCH_{MX}

Los datos recogidos por el proveedor de la aplicación o del *gadget* estarán sujetos a las políticas de privacidad de dicho proveedor.

El uso de cookies y su dirección IP, tomados por este sitio, se realiza sólo con la finalidad de mantener un sitio de acuerdo con sus preferencias locales (tales como navegador web usado, sistema operativo, ISP, etc.). El IP se almacena

únicamente con fines estadísticos, siendo omitidos todos los datos del tipo personal, tales como el nombre del usuario.

Cuando el usuario envía la fotografía, cede automáticamente los derechos al Instituto Mexicano del Transporte para su explotación, el cual podrá conservarlas para utilizarlas con fines de investigación, generación de reportes, monitoreo y actividades relacionadas con la labor que realiza este centro de investigación.

Cuando el usuario envía fotografías, el servidor (*host*) puede recibir información adicional (o metadatos) como la hora, la fecha y el lugar en que se tomó la fotografía. Esto puede ayudar a la aplicación para la gestión de la información.

Cuando se envían mensajes de correo electrónico u otras comunicaciones, el IMT puede conservarlas, a fin de procesar consultas de los usuarios, responder peticiones y mejorar la aplicación.

El sitio web y sus aplicaciones móviles se reservan el derecho de modificar, rectificar, alterar, agregar o eliminar cualquier punto de las presentes políticas en cualquier momento y sin previo aviso, siendo responsabilidad del usuario mantenerse informado de ello.

4 Estrategias y uso potencial de WATCH_{MX}

Con miras a alcanzar la máxima efectividad de la herramienta WATCH_{MX}, se requiere de una amplia difusión de la misma al interior del sector de transporte, entre los usuarios de la red, las instituciones universitarias y de investigación, así como entre organizaciones no gubernamentales dedicadas a apoyar este tipo de causas.

La información sobre la movilidad y la mortalidad de fauna en carreteras será muy significativa, no sólo para conocer el número y tipo de especies involucradas en los accidentes, sino que también será el insumo base para evaluar las colisiones animal-vehículo, desde una perspectiva que considere aspectos económicos, ecológicos, sociales, técnicos, etc., tal y como se muestra en la figura 17, sugerida por Seiler.

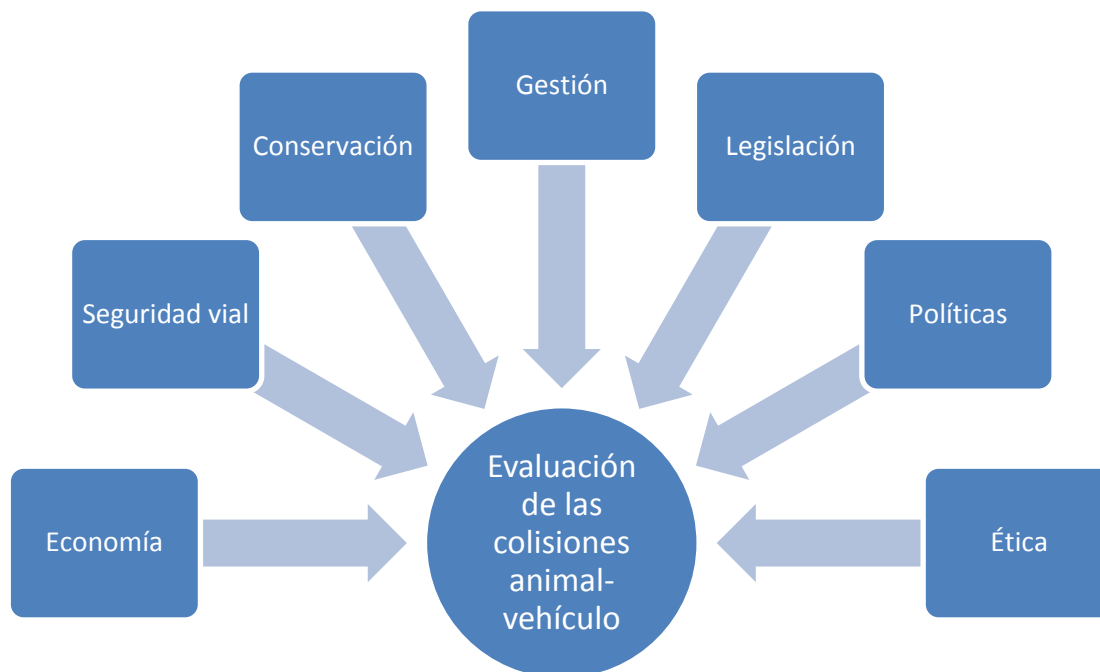


Figura 17. Perspectiva para evaluar las colisiones animal-vehículo

Fuente: Elaboración propia, basada en Seiler.

La perspectiva humana incluye aspectos éticos, políticos y legales para el análisis de colisiones animal-vehículo. El dilema ético de atropellar a una especie de fauna es preocupante en el país y puede llegar a ser traumático. Las políticas nacionales se preocupan por la protección y preservación de la fauna, pero aún existen

deficiencias legales, de aplicación de las normas, leyes y reglamentos en todos los sectores, para lograr un bienestar de la vida silvestre.

La seguridad vial y las pérdidas económicas asociadas a las colisiones animal-vehículo son las fuerzas impulsoras detrás de los esfuerzos de mitigación en la actualidad. Sin embargo, se carece de información fidedigna de los accidentes de tránsito, para que mediante un análisis costo-beneficio se puedan formular estrategias efectivas de mitigación en las carreteras, y se apliquen sin remordimientos.

La conservación de especies y su gestión son la perspectiva ambiental, que a pesar con una gran cantidad de muerte de fauna atropelladas en las carreteras no se ha evaluado el efecto sobre las poblaciones de especies de vida silvestre en los ecosistemas junto a la carretera, aunque ya se han desarrollado algunos esfuerzos en México para reducir en algunos puntos negros la mortalidad de especies.

El contar con más y mejores infraestructuras para el transporte, particularmente el carretero, es parte del desarrollo económico y para la movilidad de miles y millones de personas, sin embargo, debemos hacer frente a los problemas que actualmente representan las colisiones animal-vehículo, quizás apoyándonos en el flujograma de la figura 18.

Este proceso de evaluación es muy simple para la toma de decisiones para encaminarnos, con base en las estadísticas que se generarán de WATCH_{MX}, hacia la implementación de soluciones, que en muchos países del mundo ya existen, ya han sido implementadas, han sido evaluadas y que podemos tomar las mejores prácticas para nuestro país, a fin de restaurar la conectividad ecológica en los ecosistemas fragmentados por las carreteras y disminuir la mortalidad de especies por atropello, preservando de esta manera la riqueza de fauna con la que cuenta México.

El proceso de evaluación de la figura 8, tiene 5 preguntas claves, de acuerdo al nivel de priorización de la especie que está ligada a la colisión con el vehículo, partiendo en una primera instancia con aquellas que están protegidas por la NOM-059, seguido por las especies que son consideradas silvestres y forman parte de la riqueza natural del país, la tercera podría no estar asociadas a animales protegidos o silvestres, sino a especies incluso domésticas, pero que implican altos costos económicos cuando se trata de reparar el daño. Finalmente las últimas dos preguntas están ligadas a las políticas nacionales, dado que si el gobierno tiene metas sobre la materia, deberá entonces establecer acciones de mitigación para preservar la fauna del país, y por último, la opinión pública, donde el escrutinio de la sociedad es cada vez más severo y a favor de la protección de la naturaleza, así como del involucramiento de organizaciones no gubernamentales que protegen a diversas especies de fauna, motivando de esta manera a los gobiernos a instaurar estrategias de preservación de la fauna.

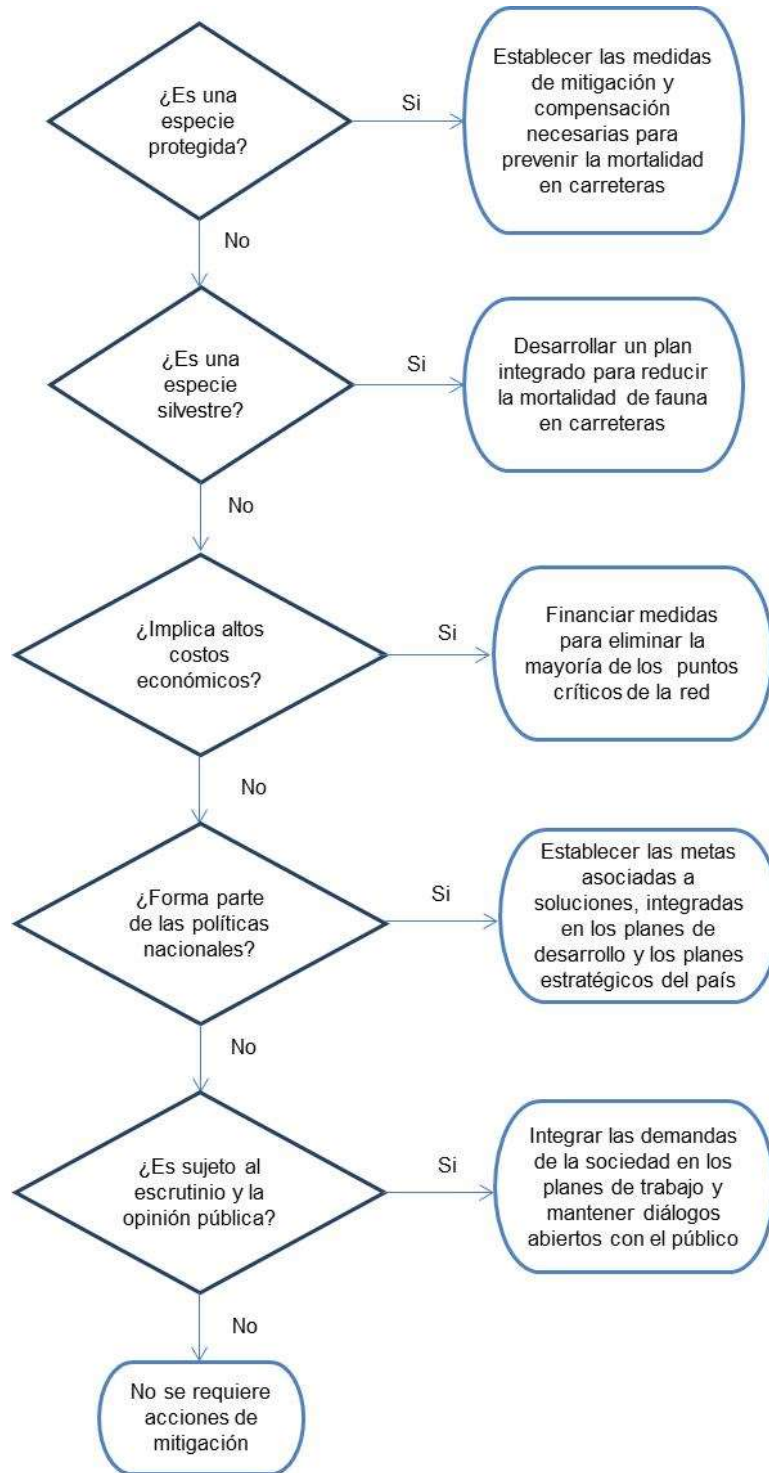


Figura 18. Proceso de evaluación de las colisiones animal-vehículo

Fuente: Elaboración propia, basada en Seiler.

4.1 Mitigación para evitar colisiones animal-vehículo

En numerosos países ya se han implementado medidas que buscan contrarrestar las colisiones de vehículos con animales, y a través de los años han probado su efectividad. La mayoría de estas medidas aplicadas hoy en día tratan de evitar que los animales crucen un camino a nivel por medio de cercas, barrancos, reflectores y repelentes (olfatorios o acústicos) o de reducir su presencia en el corredor carretero.

Sólo excepcionalmente se han realizado intentos donde se alteran los patrones del tránsito, reduciendo los límites de velocidad o mediante el cierre temporal de carreteras, o incluso para ajustar la planificación de las carreteras cuando atraviesan zonas de alto riesgo.

Las medidas destinadas a aumentar la conciencia de un conductor por medio de señales de advertencia o la educación también se utilizan, aunque son útiles cuando se trata de especies de tamaños grandes.

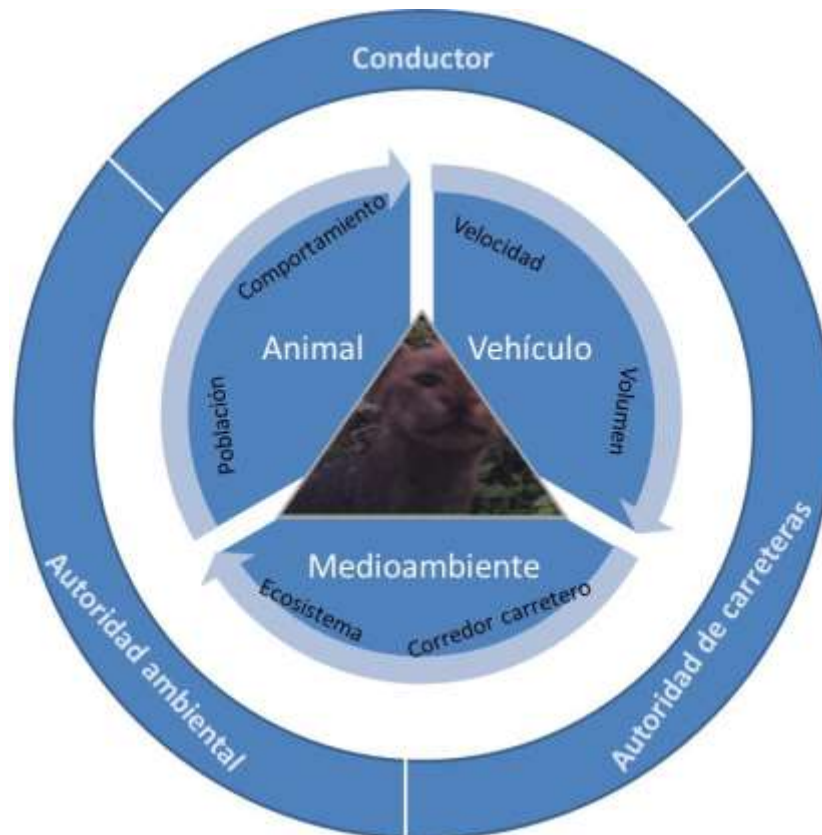


Figura 19. Atribuciones para la toma de decisiones

Fuente: Elaboración propia, basada en Seiler.

Con base en la figura 19, los factores que influyen en la ocurrencia de colisiones de vehículos con animales pueden atribuirse al vehículo, el animal y su entorno, incluidos el corredor de carreteras y el paisaje circundante (ecosistema). Las atribuciones se refieren a las responsabilidades parciales del conductor, la autoridad de carreteras y de medio ambiente, para que éstos emprendan acciones a fin de evitar colisiones. De esta manera, los conceptos de mitigación efectivos necesitan involucrar a estos tres actores.

Existe un número importante de soluciones para facilitar la movilidad de la fauna de un lado a otro de las carreteras, sobre las cuales se comentará brevemente en el presente documento.

4.1.1 Pasos de fauna inferiores

Un paso inferior es una estructura que permite a la vida silvestre cruzar la carretera por debajo de la superficie de la vía. Incluye alcantarillas, túneles o tuberías, puentes y viaductos. El tamaño o "apertura" del paso subterráneo es el principal factor que influye en las tasas de cruce de las diferentes especies. Siempre que sea posible, la altura y anchura de los pasos inferiores deben ser maximizadas.

4.1.2 Pasos inferiores en puentes

De los diferentes tipos de cruce disponibles para la vida silvestre, el paso inferior en puentes es reconocido como el más eficaz, pero también el más costoso. La estructura mantiene la pendiente de la carretera y eleva al tránsito por encima de las tierras circundantes, permitiendo que los animales pasen por debajo de la carretera. Los puentes normalmente atraviesan los escurrimientos de agua y son sitios donde la fauna circula, precisamente por la presencia de este líquido y forman parte de corredores biológicos naturales. Los diseños deben incluir zonas secas por encima del nivel de aguas máximo, a fin de que la fauna pueda cruzar.

4.1.3 Alcantarillas para los animales terrestres

Una alcantarilla se utiliza en gran medida para canalizar el agua bajo carreteras, líneas ferroviarias y terraplenes. Son diseñadas y construidas de diversas formas y tamaños, que incluyen la circular, cuadrada, rectangular y de arco o abovedada.

En una localización correcta, las alcantarillas pueden ser diseñadas para acomodar y ser modificadas para permitir el paso de la fauna.

Típicamente una alcantarilla de tres metros por tres metros sirve como sistema de drenaje, pero también puede constituir un paso inferior para vida silvestre. Lo ideal sería que la longitud de una alcantarilla excediera de 25 metros para permitir la penetración de la luz y evitar el aspecto de una cueva, que a menudo puede disuadir a los animales de moverse a través de la alcantarilla.

Cuando sea posible, los proyectos deben mantener una “medida de apertura” en el diseño de alcantarillas para acomodar los movimientos de la fauna. Estas soluciones actualmente son las más prácticas y económicas.

Algunas instalaciones adicionales en las alcantarillas, como una banquetta seca que permita a las especies cruzar la alcantarilla y les proporcione un paso seguro, pueden ser útiles para el paso de algunas especies.

4.1.4 Alcantarillas para fauna acuática

La localización de pasos de fauna acuática en alcantarillas es lo más importante, sobre todo en arroyos y ríos. Se debe evitar en zonas donde existan deslaves que puedan contaminar los escurrimientos, así como el aumento de la velocidad del flujo y desniveles fuertes en la sección que puedan impactar a la fauna acuática.

Los proyectos deben evitar perturbaciones a las secciones de un canal navegable o de la vegetación de la ribera, sobre todo cuando esas áreas representen una sección única, en peligro o sean altamente valiosas para la vía acuática.

El diseño de estas alcantarillas no debe estar pensado únicamente para peces; en algunos lugares, tendrán que contemplarse crustáceos o tortugas.

4.1.5 Pasos superiores

4.1.5.1 Puentes de cables

Algunas especies requieren pasos superiores para cruzar las carreteras. Esta medida puede facilitarse mediante la construcción de puentes con cables, ya sean de polietileno o acero (el polietileno proporciona una superficie que permite a los animales asegurar el agarre, mientras que la finalidad del acero es proporcionar flexibilidad y resistencia). Los monos y zarigüeyas son algunas de las especies que tienden a usarlas.

En el punto central del puente, colocar una capucha protectora ofrecerá refugio de animales depredadores en el aire.

4.1.5.2 Puentes arbóreos

El objetivo de estos puentes con vegetación y árboles es alcanzar la conectividad superior en una forma económica, lo cual le brinda continuidad al corredor a través de las copas de los árboles. Esto permite que especies como los planeadores se muevan a través del camino de un lado al otro.

Este tipo de mitigación es adecuado para determinadas especies, entre las que se incluyen animales arborícolas, murciélagos, pájaros e invertebrados voladores.

4.1.5.3 Pasos de fauna superiores

Un paso elevado o terreno puente es similar a un paso subterráneo, excepto que el camino va por debajo del puente que ha sido construido para la vida silvestre. Los puentes para fauna también se conocen como “puentes verdes” o “ecoductos” y puede facilitar el movimiento de fauna terrestre y arbórea.

Los puentes para fauna se han utilizado en muchos países de Europa y América del Norte, y se consideran una opción atractiva para facilitar el movimiento de una gran variedad de especies faunísticas —desde invertebrados hasta grandes especímenes— de un lado a otro de carreteras.

4.1.6 Cercas

Las cercas forman parte integral de la operación de pasos de fauna. Cuando se diseñan correctamente, las cercas pueden dirigir la fauna hacia los lugares de cruce y evitar que los animales tengan acceso a la carretera.

Las cercas deben utilizarse a lo largo de ambos extremos de las estructuras de fauna con el fin de evitar colisiones de vehículos con animales.

El tipo de cerca cambia en función de los requisitos específicos de cada especie. Como regla general, los tipos básicos se consideran aceptables. Todas las cercas requieren un espacio libre de al menos tres metros en el lado del bosque de la valla.

4.1.7 Tecnologías avanzadas para el cruce de fauna

4.1.7.1 Sistemas de detección

Los sistemas de detección de animales usan sensores para detectar animales grandes cuando se aproximan a la carretera. Las dos tecnologías más comunes

para la detección de los animales en el entorno de la carretera son sensores de cobertura de área y sensores *break-the-beam*.

4.1.7.2 Señales de advertencia activada

Las señales de advertencia activada son otro enfoque para ayudar a reducir las colisiones de vehículos con animales. Un tipo es la señal de advertencia de la fauna de temporada, que los administradores viales instalan en determinados momentos del año en que los animales cruzan la carretera con mayor frecuencia. Las agencias de transporte y de recursos naturales han utilizado señales de advertencia activadas durante las migraciones estacionales y en lugares con un elevado número de atropellamientos de fauna, así como en combinación con sistemas de detección de animales.

4.1.7.3 Cercas electrificadas

Otra estrategia para reducir las colisiones de vehículos con animales es la instalación de cercas eléctricas. Los ensayos de campo por parte del Servicio de Parques Nacionales (*National Park Service*) de los Estados Unidos han demostrado que la cerca eléctrica puede ser un medio eficaz de disuasión para una variedad de animales como venados, alces y osos. Un animal investiga primero con su nariz y luego recibe un choque doloroso pero inofensivo, lo que ayuda a disuadir a que se acerque a la valla de nuevo.

5 Conclusiones

La fragmentación de los ecosistemas como consecuencia del desarrollo de la infraestructura carretera es un impacto significativo que afecta la movilidad de la fauna y sus procesos naturales.

Las estadísticas de accidentes animal-vehículo registrados muestran un importante índice de ocurrencia en el país, además de los impactos severos que tienen en la salud humana, pérdidas materiales y económicas, y la disminución de las poblaciones de fauna silvestre.

El análisis bibliográfico refleja que, a escala mundial, las colisiones animal-vehículo son un factor de riesgo en las carreteras y que se debe actuar en consecuencia. Para ello es importante contar con información sólida sobre las especies que están siendo atropelladas y en qué carreteras del país.

Las herramientas de monitoreo implican tecnologías innovadoras y la participación de la sociedad en general, para obtener información del avistamiento de especies o, en su caso, de reportes de especies atropelladas en las carreteras, con el objeto de identificar los puntos críticos y tomar las medidas adecuadas.

WATCH_{MX} será, sin duda, una herramienta vital para conformar una base de datos en pro de la preservación de la fauna mexicana, que con la ayuda de la sociedad en general y de los encargados de la supervisión rutinaria de las carreteras, aportará información de las especies atropelladas o en movimiento que se aproximan a las carreteras.

El uso potencial de WATCH_{MX} sugiere que, a través de fotografías tomadas por los usuarios de la red de carreteras y enviadas al Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras en México del Instituto Mexicano del Transporte, se podrá integrar un sistema para:

- Monitorear las especies que cruzan o que son atropelladas en las carreteras.
- Identificar los puntos críticos de la red que ponen en peligro a los usuarios de la red y a especies.
- Generar reportes que faciliten la toma de decisiones en busca de implementar medidas de mitigación.
- Reducir la mortalidad de especies de fauna en las carreteras y preservarlas para el futuro.
- Aumentar la seguridad de las carreteras.

Para que la herramienta WATCH_{MX} pueda resultar efectiva, se requiere de una amplia difusión de la misma al interior del sector transporte, de los usuarios de la red, de las instituciones universitarias y de investigación, así como entre organizaciones no gubernamentales que apoyan este tipo de iniciativas.

La información sobre la movilidad y la mortalidad de fauna en carreteras será muy significativa, no sólo para conocer el número y tipo de especies involucradas en los accidentes, sino que también será el insumo base para evaluar las colisiones animal-vehículo, desde una perspectiva que contemple aspectos económicos, ecológicos, sociales, técnicos, etc.

Se requiere además de la implementación de un proceso de evaluación simple para la toma de decisiones a efectos de encauzar acciones, con base en las estadísticas generadas a partir de WATCH_{MX}, hacia la implementación de soluciones que en muchos países del mundo ya existen, han sido implementadas y evaluadas y de las cuales se pueden tomar las mejores prácticas para adoptar en México, a fin de restaurar la conectividad ecológica en los ecosistemas fragmentados por las carreteras y disminuir la mortalidad de especies por atropello, preservando de esta manera la riqueza de fauna con la que cuenta el país.

Se buscará que la implementación de WATCH_{MX} se dé a la brevedad, y se apoyará en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como en otras organizaciones dedicadas a la preservación de la fauna.

Las investigaciones futuras en esta línea de trabajo serán en torno de la generación de reportes sobre movilidad y mortalidad de fauna en las carreteras del país, para que con base en ellos la Secretaría de Comunicaciones y Transportes pueda incluir acciones de mitigación en sus planes de trabajo.

Dichas acciones de mitigación podrán ser acordes con el proceso planteado en esta investigación, pero lo más importante será monitorearlas para evaluar la efectividad de las medidas tomadas y, de esta manera, poder generar las mejores prácticas nacionales sobre los cruces de fauna en carreteras.

Bibliografía

Arroyave, María del Pilar *et al.* (2006), “Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo”, *Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquía*, núm. 5, ISSN 1794-1237, Colombia, junio de 2006.

CONABIO (2000), *Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.

CONABIO (1998), *La diversidad biológica de México: Estudio de país*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.

FHWA (2008), *Wildlife-Vehicle Collision Reduction Study: Making America's Highways Safer for Drivers and Wildlife*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration [Departamento de Transporte, Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos].

Gray, Mary, (s/f), *Advances in Wildlife Crossing Technologies*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration [Departamento de Transporte, Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos].

Ontario Road Ecology Group (2010), *A Guide to Road Ecology in Ontario*, Environment Canada Habitat Stewardship Program for Species at Risk [Programa para la Protección de Hábitats, del ministerio Medio Ambiente de Canadá], Ontario, Canadá.

CBD (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. Organización de las Naciones Unidas.

ONU (1992), *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, Organización de las Naciones Unidas, 1992

Puc Sánchez, J. I., Delgado Trejo, C., Mendoza Ramírez, E., Suazo Ortuño, I. (2016), *Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), *Biodiversitas*, núm. 11, pp. 12-16, México, D.F.

CONANP, *Convención para la protección de la flora, de la fauna y de las bellezas escénicas naturales de los países de América*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.

SEMARNAT (2015), *Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, México, D.F., 9 de enero de 2015.

SEMARNAT (2015), *Ley General de Vida Silvestre*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, México, D.F., 26 de enero de 2015.

SEMARNAT (2010), *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F., 30 de diciembre de 2010.

Seiler, Andreas (2003), *The toll of the automobile: wildlife and roads in Sweden*, Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, Uppsala, Suecia.

Traffic Injury Research Foundation (2012), *Wildlife-vehicle collisions in Canada: A review of the literature and a compendium of existing data sources*, Ottawa, Canadá.

Transportation Research Board (2007), *Animal-Vehicle Collision Data Collection: A synthesis of highway practice*, National Cooperative Highway Research Program [Programa Nacional de Investigación Conjunta sobre Carreteras], Washington, Estados Unidos.

VicRoads (2012), *Fauna Sensitive Road Design Guidelines*, Australia.

Asociación Mundial de Carreteras (2011), *Monitoring of environmental impacts of roads*, informe técnico, París, Francia [PIARC, 2011].

Zamorano de Haro, Pablo (2009), *La flora y fauna silvestres en México y su regulación*, Procuraduría Agraria, México, D.F.

Páginas web:

<http://www.FAO.org/>

<http://www.averaves.org/>

<http://www.deercrash.org/index.htm>

<http://www.wildlifecollisions.ca/default.aspx>

http://www.fhwa.dot.gov/environment/critter_crossings/

<http://www.wildlifemapping.org/main>



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>